

Digitized by Google

ALCONE



5-E-5

Digitized by Google

B. P
I
525

Digitized by Google

Digitized by Google

L'ART D'OBSERVER

EN GÉOLOGIE.

Digitized by Google

STRASBOURG, IMPRIMERIE DE F. G. LEVRAULT.

Digitized by Google

EN GÉOLOGIE,

PAR

HENRY T. DE LA BÈCHE,

MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ ROYALE,
SECRÉTAIRE POUR L'ÉTRANGER DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE LONDRES, ETC.

Traduit de l'anglais

PAR H. DE COLLEGNO,

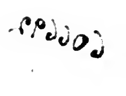
SECRÉTAIRE POUR L'ÉTRANGER DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE.



A PARIS,

Chez F. G. LEVRAULT, rue de la Harpe, n.° 81;
STRASBOURG, même maison, rue des Juifs, n.° 33.
1838.

Digitized by Google



Digitized by Google

AVERTISSEMENT.

Ainsi que l'a dit Sir J. Herschell dans son discours sur l'étude de l'histoire naturelle : « un bon observateur doit « non-seulement connaître tout ce qui est relatif à la « science à laquelle se rapportent ses observations, mais « il doit être versé en outre dans les diverses branches « des connaissances humaines qui ont quelque point de contact avec cette science. Cependant, continue-t-il, toute personne douée de quelque instruction, peut, avec de la bonne volonté, ajouter quelque chose à la masse générale des connaissances humaines, pour peu qu'elle observe régulièrement et méthodiquement les its qui auront le plus frappé son attention, ou ceux ıe sa position la mettra à même d'étudier avec le plus suite. Parmi les sciences qui ne peuvent se perfecmer que par le concours d'un grand nombre d'obateurs, nous citerons la météorologie : cette branche compliquée, mais tout aussi importante de la phy- du globe se fonde sur des observations que toute nne peut répéter, pourvu qu'elle veuille s'assujettir ıines règles et y apporter l'attention nécessaire. ıtre côté, quelles obligations la géologie n'a-t-elle voyageurs actifs et intelligents qui, mettant de te idée théorique, se sont bornés à recueillir

: science quelconque pourrait s'enrichir
immense de faits, si l'on donnait des
précises à bien des personnes qui sans
teraient avec joie le moyen de se rendre
science dans les diverses circonstances dans
lles pourraient se trouver placées. »

ques ont fait naître l'idée de l'ouvrage inti-
observer, et elles indiquent assez quel est le
ouvrage.

n peu fait jusqu'ici pour donner des instruc-
lées aux observateurs, si l'on excepte l'excellent
e M. Babbage sur l'Économie des manufactures.
é on a cherché souvent à faire sentir les avan-
le plaisir qu'on peut se procurer par des obser-
bien dirigées, et le conte charmant intitulé :
es yeux et n'en point avoir, dans la collection des
à la maison, réunit tout ce qu'on peut dire à ce
Cependant le meilleur moyen d'inspirer l'amour
bservation consiste peut-être à enseigner *comment*
it observer. A cette fin on avait pensé d'abord à
ir dans un ou deux volumes une série d'avis appelant
ention des voyageurs et de toutes les personnes qui
draient s'occuper de sciences, sur les points les plus
portants à observer en histoire naturelle organique et
organique, en agriculture, en statistique générale, etc.
près de mûres réflexions, on a cru qu'il valait mieux
tendre le plan primitif et séparer le champ de l'obser-
vation en grandes divisions, de manière à ce que les
personnes qui se livrent à une certaine série de recher-
ches n'en soient point distraites par des objets auxquels
elles ne prennent pas un égal intérêt. De cette manière

l'Art d'observer en géologie forme par lui-même un ouvrage complet, quoiqu'il soit compris dans le plan général de toute la série des ouvrages sur l'art d'observer.

Ce livre ne sera pas sans utilité pour les géologues : mais on espère en outre qu'il appellera l'attention des personnes étrangères à la science sur les différents points qui y sont traités, et qu'il pourra ainsi changer bien des voyageurs indifférents aux richesses scientifiques qui leur passent sous les yeux, en autant d'observateurs zélés contribuant aux progrès de la géologie. Il n'est nullement nécessaire pour cela que le voyageur soit profondément versé dans l'étude des différents objets qu'il rencontrera chaque pas. Pour peu qu'il observe la nature, il en ıura bientôt assez pour apprécier ce qu'il voit et pour primer ce qu'il sent. Les ouvrages dans lesquels l'obser- !eur exprime d'une manière simple et correcte ce qu'il u de ses propres yeux, montrent assez tout le charme l'habitude de l'observation peut donner aux descrip- ; des objets les plus communs. Quel est l'homme ı'a pas éprouvé un immense plaisir à chaque nou- lecture de l'*Histoire naturelle de Selborne,* par White, ge qui montre à la fois toute l'importance des obser- ; de détail, et le peu de connaissances scientifiques ;t nécessaire de posséder pour se rendre à la fois intéressant. D'un autre côté, les écrits de Bernardin -Pierre, si remplis de descriptions éloquentes et ues, sont presque oubliés aujourd'hui parce nquent de l'exactitude et des observations de i peuvent seules assurer un succès durable à e scientifique.

1.er juin 1835.

ı à ajouter à l'avertissement qui précède, evoir m'excuser d'avoir peut-être été au raducteur dans des notes qui tendent à ıions exprimées par M. De La Bêche sur ıtion des dépôts de sédiment. J'avais émis ɔns à ce sujet lors de la publication en *ɔw to observe*[1]; j'ai cru devoir les répéter livre qui avait donné lieu à ces réflexions, us particulièrement l'attention des observenre de phénomènes. Au reste, quand il que des couches de sédiment peuvent, , être déposées sous un angle de 30 ou 40° galets des poudingues de Valorsine, les lignites de Gardanne[2], etc., prouveront ɥu'il est des couches inclinées qui ont été talement, et que la position que ces couaujourd'hui est due à un redressement r dépôt. D'ailleurs M. de La Bêche, tout ue des couches *peuvent* se former aujourngles fort inclinés, n'en conclut nullement inclinée des couches des pays de monexpliquer par les *causes actuelles*, et les connaissent ses écrits, savent bien que que lui n'est persuadé que les inégalités globe sont dues à des dislocations subites

H. DE COLLEGNO.

ociété géologique, tom. 7, pag. 116.
nces naturelles, tom. 18, pag. 381.

L'ART

D'OBSERVER EN GÉOLOGIE.

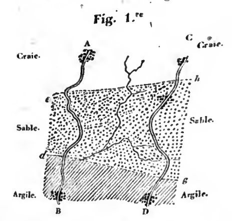


PREMIÈRE PARTIE.

On peut partager les observations géologiques en deux classes; celles qui se rapportent immédiatement à la géologie considérée comme science; et celles qui montrent l'utilité de la géologie dans les arts qui servent aux besoins et aux agréments de l'homme, tels que l'agriculture, l'exploitation des mines, l'architecture, etc. Nous chercherons d'abord à indiquer comment les personnes qui désirent contribuer aux progrès de la géologie, peuvent se rendre utiles, sans même être très-avancées dans l'étude de cette science; puis nous nous occuperons des observations de la seconde classe, qu'on a, en général, trop négligées jusqu'ici.

Il est bien peu de personnes probablement, qui n'aient jamais remarqué que l'aspect d'une contrée tient surtout à la nature du sol, et que, d'un autre côté, le sol varie suivant la nature des masses minérales qu'il recouvre, telles que les argiles, les sables et les roches solides de diverses sortes. On aura sans doute observé aussi qu'en parcourant un pays dans certaines directions et sur des routes peu éloignées les unes des autres, on trouve fréquemment une série de terrains qui se suivent dans un ordre constant; de sorte que si on notait sur une carte géographique les points auxquels s'opèrent sur les diverses routes les changements de terrain, et que l'on unit par des lignes les points où se font ces changements, le pays se trouverait partagé en plusieurs zones, dans chacune desquelles le sol serait constitué par un terrain différent.

Fig. 1.re



Supposons qu'un voyageur se dirige de B en A par la route BA, et que la ville ou le village B se trouve sur une argile qui se continue jusqu'en *d*, où le sol est constitué par du sable. Le voyageur rapportera le pays qu'il a parcouru jusqu'en *d* aux terrains argileux. Supposons encore que le même observateur, continuant sa course, trouve que le sable se termine en *e*, et qu'à partir de ce point c'est la craie qui forme le sol du pays; il ne manquera pas de se dire que le pays qu'il a parcouru, se compose successivement d'argile, de sable et de craie; mais il ignorera encore la direction suivant laquelle s'étendent ces terrains de nature diverse.

Maintenant, si le même voyageur vient à parcourir une autre route, DC, sensiblement parallèle à la première, BA, et qui en serait éloignée de quelques milles, et qu'il rencontre en D une argile semblable à celle de B, il sera en droit de conclure que le terrain argileux s'étend de B en D. Si dans sa course il quitte l'argile en *g* pour entrer sur le même sable qu'il a observé déjà en *d* sur la route BA; et s'il retrouve en *h* la même contrée crayeuse qu'il a trouvée sur l'autre route, en *e*, le voyageur sera conduit à unir sur sa carte le point *d* au point *g*, et le point *e* au point *h*; le pays compris entre les deux routes, BA et DC, se trouvera ainsi divisé en trois parties, l'une argileuse, la seconde sableuse, la troisième crayeuse.

Ayant ainsi tracé la première esquisse grossière d'une carte géologique, l'observateur supposera probablement qu'il y a dans ce pays une sorte de succession de substances minérales, et il sera tenté de parcourir d'autres parties de la contrée, à droite et à gauche du champ de ses premières observations, pour examiner si

le même ordre de succession se continue dans ces diverses directions ; et lorsqu'il aura reconnu cette continuation, il pourra conclure que les sols de différente nature, ou plutôt les masses minérales que le sol recouvre et qui en fournissent les matériaux, ne sont point mélangées confusément, mais qu'en observant les choses en grand, elles se suivent d'après un certain ordre. Arrivé à cette conclusion, son premier désir sera probablement de reconnaître si ces diverses masses minérales, si ces divers terrains ne reposent point les uns sur les autres, et quel serait, dans ce cas, leur ordre relatif de superposition. Nous supposerons, pour un instant, qu'il trouve, comme dans la coupe ci-dessous (fig. 2), que l'argile repose sur

Fig. 2.

L
Craie.
Argile.
Sables.

le sable, et celui-ci sur la craie. Après avoir bien constaté ce fait en différents points, il sera nécessairement convaincu que dans le pays qu'il a parcouru, ces masses minérales, ces terrains se succèdent les uns aux autres dans l'ordre que représente la figure 2, qui peut donner en même temps une idée grossière de la structure géologique des environs de Londres ; l'argile, nommée *argile de Londres*, parce que la ville (L) est construite sur cette argile, repose sur des sables, qui alternent avec des lits d'une autre argile (qu'on nomme *plastique*, d'après son emploi dans les arts), et les sables à leur tour *sont supportés* par la craie, qui s'élève en collines à distances au sud, à l'ouest et au nord de la capitale.

Après avoir reconnu, par des observations aussi simples, que les terrains au moins se recouvrent les uns les autres dans

On suppose toujours qu'une coupe géologique est verticale, à moins qu'on n'avertisse du contraire. Comme toute autre section, elle suppose qu'on a réellement coupé un corps matériel de manière à ce qu'une des deux parties étant enlevée, on puisse mieux reconnaître la structure de l'autre. Ainsi lorsque l'on veut voir la structure d'une orange, une pomme, on fait une section qui met au jour la structure de ces fruits. Les coupes géologiques sont quelquefois naturelles, telles que les falaises au bord de la mer ; d'autres fois on trouve des coupes dans les tranchées que l'on fait pour l'établissement des routes ou d'autres objets ; enfin, on a des coupes idéales, telles que celles de la carte, qui sont construites d'après une connaissance approfondie des faits, et l'on doit admettre la disposition représentée comme extrêmement probable, sinon certaine ; bien entendu que l'on aura apporté tout le soin

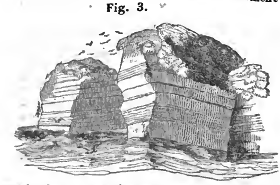
un ordre déterminé, il est probable que la curiosité d'un observateur doué de quelque intelligence, sera assez excitée pour qu'il veuille savoir si d'autres observateurs ont reconnu dans d'autres pays des successions analogues de terrains. Il trouvera bientôt que c'est là depuis longtemps le sujet des observations des géologues; il voudra alors connaître le résultat de ces observations, il voudra savoir comment il devra s'y prendre dorénavant pour observer les faits qui lui tomberont sous les yeux, de manière à se procurer d'abord une idée générale de l'état des connaissances humaines en géologie, et, par suite, être à même d'employer son temps le plus utilement possible, au lieu de risquer de le perdre à des observations qui ne sont plus d'aucune importance. Nous nous proposons, dans cet ouvrage, de donner aux commençants cette idée générale de l'état présent de la géologie, et de leur indiquer en même temps la manière de diriger utilement leurs observations; nous espérons que ceux de nos lecteurs qui jusqu'ici ne se seraient pas encore occupés de ce genre de recherches, se trouveront ainsi à même de recueillir des faits qui pourront avancer la science, et qui auraient bien pu passer inaperçus aux personnes qui n'auraient pas su comment les observer.

Les recherches des géologues leur ont appris que, parmi les roches[1] qui constituent la surface solide accessible de la planète terrestre, les unes ont été déposées par des eaux qui, pendant un certain temps, en ont tenu les éléments en suspension mécanique ou chimique, tandis que les autres ont été jadis à un état de liquidité provenant d'une fusion ignée. Les terrains de l'écorce du globe sont appelés sédimentaires ou ignés, suivant que les roches qui les composent ont eu l'une ou l'autre origine. On partage aussi les terrains en *stratifiés* et *non stratifiés*, termes que l'on admet comme synonymes de sédimentaires et ignés. On verra dans la suite que ces termes sont sujets à des inconvénients; mais comme dans l'état actuel de la science ces inconvénients n'en contre-balancent point l'utilité, nous emploierons les termes de *stratifiés* et *non stratifiés* dans le sens qu'on leur donne communément aujourd'hui.

[1] On appelle *roche* en géologie, les masses minérales cohérentes de toute sorte qui entrent dans la composition de l'écorce solide du globe, quelle que soit d'ailleurs la dureté de ces masses. Ainsi les argiles, les marnes, les grès friables, etc., sont compris dans les *roches* lorsqu'ils font partie d'une série de masses minérales composant un terrain. Les sables incohérents eux-mêmes portent le nom de *roches* lorsqu'on les rencontre dans une position analogue. (*Note de l'auteur.*) — Voyez aussi la note de M. Brochant de Villiers à l'article *Stratification des terrains* du Manuel géologique.

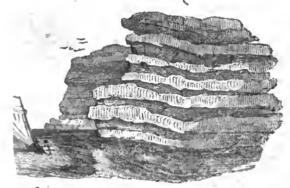
On dit que les terrains sont stratifiés, lorsqu'ils sont partagés en
uches comme les feuillets d'un livre, ou comme différents livres
morceaux de drap placés les uns sur les autres. Lorsqu'un
servateur a devant les yeux une série de couches superposées
unes aux autres, comme dans les falaises de la figure 3, il a
ant lui un terrain stratifié ; mais il n'est nullement nécessaire

Fig. 3.



paration des couches soit aussi nette que celle des feuillets
ou de morceaux de drap qu'on aurait empilés les uns
tres, pour qu'un terrain soit dit stratifié ; on appellerait
rrain dont les couches seraient aussi inégales que celles
4. Lorsqu'une roche ne forme qu'une grande masse de

Fig. 4.

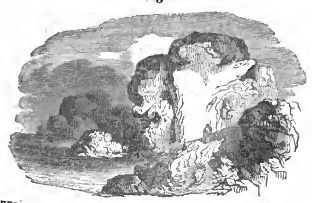


, dans laquelle on ne découvre aucune trace de
cune division autre que les joints ou fentes de cli-

Digitized by Google

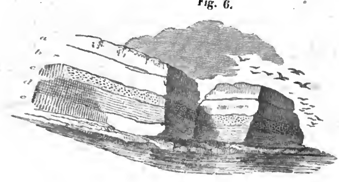
vage, dont on parlera plus bas, on dit que le terrain est *non stratifié*. Ces terrains ont souvent l'apparence massive représentée dans la figure 5.


Fig. 5.



Les terrains stratifiés se partagent en deux classes : les *fossilifères* et les *non fossilifères*; les premiers contiennent des restes d'anciens animaux ou végétaux, dont les dépouilles, plus ou moins bien conservées et le plus souvent converties en substances minérales, sont appelées communément *fossiles* ou *débris organiques*; tandis que les terrains de la seconde classe n'offrent aucune trace de restes organiques. Ces dénominations s'appliquent à la masse des terrains; car, quoique les terrains *non fossilifères* ne contiennent jamais de débris organiques, il existe souvent dans les terrains *fossilifères* des couches sans aucune trace de restes organiques, et que l'on pourrait, en les prenant isolément, appeler *non fossilifères*; mais ces couches étant associées comme l'est celle *e* (fig. 6) avec des couches *a, b, d,*


Fig. 6.



Digitized by Google

:t e, dans lesquelles on trouve des restes organiques, on les
omprend nécessairement dans la classe des terrains *fossilifères*, le
ianque de fossiles n'étant là qu'un accident dû à des circonstances
articulières.

Les terrains non fossilifères sont connus en outre sous le nom de
imitifs, parce que ce sont les plus inférieurs des terrains stra-
és dont on ait connaissance, et que l'on a admis par suite avoir
formés les premiers de tous. Les faits qu'on observe dans ces
ches sont tels que, d'après le véritable esprit des recherches
osophiques, il serait excessivement hasardé de décider que toutes
ouches minérales, que tous les terrains stratifiés ont été déposés
es eaux. Nous n'entrerons dans aucune discussion à cet égard,
us préférons renvoyer le lecteur aux divers traités de géologie,
i donneront tous les éclaircissements qu'il peut désirer; mais
ivons mentionné ce point, afin de prémunir le lecteur contre
on, trop généralement adoptée, que tous les terrains divisés
hes ou stratifiés, ont nécessairement été déposés par les eaux.
oches non fossilifères se composent, pour la plupart, d'un
ombre de substances minérales, dont les plus importantes
juarz, le feldspath (commun et compacte), l'amphibole, le
tourmaline, le grenat, la chlorite, le talc et la stéatite.
nombre d'autres minéraux entrent dans ces roches comme
cidentelles, et l'un de ces minéraux, le carbonate de chaux,
lquefois des masses entières subordonnées, le plus souvent
me de marbre statuaire. Il est bien rare que ces roches ne
t cristallines ou subcristallines. Elles résultent, pour la plu-
mélange confus de deux, trois, ou un plus grand nombre
x, et elles prennent, suivant leur composition particu-
ents noms, tels que *gneiss*, *micaschiste*, *talcschiste*, *am-*
. On trouvera dans les traités de géologie la description
ces roches; et nous engageons le lecteur, si la connais-
n est point encore familière, à consacrer quelque temps
dans quelque bonne collection et avec une personne
; il en apprendra plus de cette manière en quelques
ie le ferait pendant des semaines entières employées
les descriptions de roches. Nous nous bornerons à
sous le rapport chimique, les roches non fossilifères
u ensemble de silicates, parmi lesquels on ne trouve
nombre de carbonates. Les principaux silicates sont
de potasse, de soude, de magnésie, de chaux; les
ceux de chaux et de magnésie. La silice est la
ucoup la plus importante, puis l'alumine; la potasse

la magnésie et la soude viennent ensuite. La chaux et l'acide fluorique sont disséminés dans presque toutes les roches non fossilifères, mais en petites quantités; les oxides de fer et de manganèse y sont très-communs aussi; le premier est de beaucoup le plus important des deux.

Les terrains fossilifères reposent sur les non fossilifères; ils contiennent des restes d'êtres organisés, qui prouvent que la vie animale et végétale existait à la surface de notre planète avant le dépôt de ces terrains. On ne peut guère fixer un ordre constant de superposition dans les divers membres des terrains non fossilifères; quoique, à les prendre dans leur ensemble, on puisse dire que le gneiss et le micaschiste dominent vers la partie inférieure du groupe. Il en est tout autrement des terrains fossilifères, dans lesquels on reconnait un ordre déterminé de superposition qui n'est jamais interverti; c'est-à-dire que si l'ordre de la série de ces terrains est celui de *a*, *b*, *c*, *d*, dans la coupe ci-jointe (fig. 7), on ne trouve jamais le

Fig. 7.



terrain *d* reposant sur *a*, ou le terrain *d* sur *c*, quoiqu'il puisse se faire que l'on voie le terrain *a* immédiatement au-dessus de *d*, comme dans la figure 8, soit que les terrains *b* et *c* n'aient point

Fig. 8.

été déposés dans cette localité, soit qu'ils aient été enlevés avant le dépôt du terrain *a*; car les deux cas amèneraient nécessairement le contact immédiat du terrain *a* au-dessus de celui *d*. Lorsque nous disons qu'il existe un ordre déterminé de superposition dans les terrains fossilifères, il ne faut pas que l'on croie des couches d'une même nature minéralogique ne peuvent point trouver sur différents points de la série; au contraire, les grès, iles, les calcaires, se répètent souvent avec des différences à erceptibles de composition, et sans présenter plus d'ordre x, sous le rapport minéralogique, qu'on n'en voit dans les

vers membres du groupe non fossilifère. En disant qu'il est un
dre déterminé de superposition dans les terrains fossilifères, on
tend que de certaines masses minérales, n'importe la composition
néralogique de ces masses, ont été produites pendant des périodes
logiques distinctes entre elles, et les unes après les autres; et
, d'après la connaissance de ces terrains en Europe, où on les
mieux étudiés, chaque membre de la série contient un ensemble
ébris organiques, différent de l'ensemble de ces débris contenu
un étage différent. On se rendra mieux compte de cette idée,
i suppose une série de terrains fossilifères *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*,
', *m*, *n*, *o*, qui reposent les uns sur les autres comme dans la
9 (quoiqu'il ne faille point supposer qu'un tel nombre de

Fig. 9.



ossilifères se succède jamais dans la nature avec une telle
et un tel parallélisme); chacun de ces terrains contiendra
estes organiques, dont l'ensemble différera de l'ensemble
des autres terrains plus ou moins élevés dans la série;
e, *g*, *m* puissent être des grès; *b*, *d*, *h*, *k*, *o* des schistes
i des argiles, et *c*, *f*, *i*, *l*, *n* des calcaires.
ivé convenable de partager les terrains fossilifères en
es, auxquels on a donné des noms particuliers qui, le
indiquent les localités dans lesquelles chaque groupe
éveloppé, ou bien celles où il a été le mieux étudié.
ésultent, en général, de dépôts formés par voie méca-
ie quelques-uns d'entre eux soient évidemment des
iiques; on ne peut donc guère s'attendre à ce qu'ils
de grandes étendues une structure minéralogique
moins encore à ce que des terrains, d'une même
nt sur toute la surface du globe la même composi-
ar il faudrait supposer que des circonstances iden-
à la fois sur toute la surface de notre planète;
st évidemment absurde lorsqu'il s'agit de roches
ue, qui résultent du dépôt de fragments plus ou
i étaient d'abord en suspension dans l'eau ou que
en les poussant en avant. On n'en a pas moins
minéralogiques particulières pour type ca-

Digitized by Google

› terrains fossilifères sur des surfaces relativement t pour mettre le lecteur au courant des caractères terrains, nous donnons dans le tableau suivant, ›rdre de superposition des diverses subdivisions du e, une idée de la structure minérale des terrains *ıpracrétacés* ou tertiaires : mais nous répétons que ıe caractérise les divers terrains que sur des étenıns limitées, ainsi que nous aurons l'occasion de le ore plus particulièrement.

rrains fossilifères d'une partie de l'Europe occi-e, en commençant par les plus élevés.

SOUS-DIVISIONS.	STRUCTURE MINÉRALE.
....	Détritus de nature diverse, déposés par les eaux qui les tenaient en suspension mécanique, ou qui les transportaient en les faisant rouler devant elles; dépôts chimiques modernes calcaires, siliceux et autres, formés par les eaux; îles et récifs madréporiques, etc.
Divisé par M. Lyell, qui conserve à ce groupe le nom de *tertiaire*, en quatre sous-groupes; savoir, le nouveau et l'ancien pliocène, le miocène et l'éocène.	Détritus de nature diverse déposés par les eaux; dépôts calcaires, siliceux et autres, résultant de solutions chimiques, etc.
a. Craie.	Substance calcaire bien connue, contenant des silex, à sa partie supérieure surtout.
b. Grès vert supérieur.	Roches arénacées, le plus souvent calcaires, avec une grande quantité de grains verts de silicate de fer.
c. Gault.	Dépôt argileux, d'un gris bleuâtre, contenant une grande quantité de matière calcaire.
d. Grès vert inférieur.	Sables et grès, le plus souvent verts ou ferrugineux, cette dernière couleur dominant surtout à la partie inférieure du terrain.
a. Calcaire de Portland.	Couches de calcaire oolitique, associées à des calcaires compactes, avec silex et cherts.
b. Sables de Portland ou de Kimeridge.	Sables siliceo-calcaires, quelquefois concrétionnés.

GROUPES.	SOUS-DIVISIONS.	STRUCTURE MINÉRALE.
OOLITIQUE (*Suite*).	*c.* Argile de Kimeridge.	Dépôt argilo-calcaire, quelquefois avec traces de combustible.
	d. Grès calcaire sup.r	Dépôt arénacé.
	e. Coral-rag.	Ainsi nommé par suite de la grande quantité de coraux fossiles qu'on y découvre. Les calcaires oolitiques associés au *coral-rag* ont quelquefois un grain si volumineux, qu'ils en prennent le nom de *pisolite.*
	f. Grès calcaire inf.r	Dépôt arénacé.
	g. Argile d'Oxford.	Dépôt argilo-calcaire, à la partie inférieure duquel se développe souvent un grès calcaire connu sous le nom de *roche de Kelloway.*
	h. Grande oolite, comprenant, en allant de haut en bas, 1.° le *Cornbrash;* 2.° le Marbre de *Forest;* 3.° l'Argile de *Bradford;* 4.° l'Oolite de Bath.	Suite de calcaires compactes, oolitiques ou friables, associés quelquefois avec des argiles et des marnes. Les schistes de *Stonesfield,* remarquables par les fossiles qu'ils contiennent, forment quelquefois la base de la grande oolite.
	i. Terre à foulon (*Fuller's earth*).	Dépôt argileux, ainsi nommé, parce qu'on en tire, dans quelques localités, de la terre à foulon.
	k. Oolite inférieure.	La partie supérieure en est formée de couches calcaires dans lesquelles abondent des grains et de petits nodules de fer hydraté, tandis que la partie inférieure consiste principalement en sables et concrétions siliceo-calcaires.
	l. Lias.	Dépôt argilo-calcaire, dans lequel sont souvent développées des couches d'un calcaire argileux, surtout vers la partie inférieure de la formation.
	a. Marnes irisées.	Marnes bigarrées de diverses nuances, rouges, bleues, grises, vertes et blanches; le rouge est en général la couleur dominante. Le gypse abonde dans ces marnes, et on y rencontre accidentellement du sel gemme.
	b. Muschelkalk.	Couches calcaires d'une texture variable, mais le plus souvent grises et compactes. Quelques couches en sont dolomitiques.
	c. Grès bigarré.	Dépôt arénacé, principalement argileux et siliceux, coloré en vert, en blanc, en bleu et en rouge; cette dernière couleur est de beaucoup la plus fréquente. Ce dépôt contient accidentellement des masses de gypse et de sel gemme.

Digitized by Google

SOUS-DIVISIONS.	STRUCTURE MINÉRALE.
d. Zechstein ou calcaire magnésien.	Couches calcaires, dans lesquelles le carbonate de magnésie est disséminé en quantités variables; la roche passe quelquefois au carbonate double de magnésie et de chaux, qui porte le nom de dolomie. Le tout repose sur un schiste marneux, qu'on nomme *schiste cuivreux* (*Kupferschiefer*), parce qu'il contient du cuivre en Allemagne.
e. Rothliegendes.	Série de grès et de conglomérats, colorés en rouge, avec des marnes ou des argiles rouges, accidentellement subordonnées. Les grès dominent dans quelques localités; ailleurs ce sont les conglomérats; ceux-ci se trouvent en général à la partie inférieure.
a. Terrain houiller.	Suite variée de schistes, de grès et accidentellement de conglomérats; à ces assises sont associées des couches de houille d'une épaisseur très-variable.
b. Calcaire carbonifère.	Calcaires compactes, ayant le plus souvent une teinte grise, souvent assez durs pour être employés comme marbre.
c. Vieux grès rouge.	Grès divers, le plus souvent colorés en rouge, contenant souvent des conglomérats, et quelquefois aussi des parties calcaires qui portent le nom de *corn-stones*.
....	Accumulation considérable de roches arénacées, parmi lesquelles se trouvent accidentellement des conglomérats. La grauwacke est composée principalement de matières argileuses et calcaires qui forment des schistes et des grès. On trouve des calcaires subordonnés sur différents points de ce groupe, mais ils y jouent un rôle très-peu important. On y trouve quelquefois des couches d'anthracite. Les couleurs en sont surtout le gris et le brun, mais le rouge se trouve par-ci par-là à toutes les hauteurs de la formation. Les parties inférieures paraissent passer insensiblement aux terrains non fossilifères, par l'intercalation de plus en plus abondante des couches cristallines.

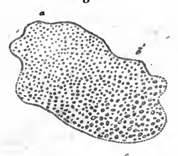
Digitized by Google

..., telle que nous venons de la donner, ne peut être regardée comme caractéristique autrement que sur de petites étendues; on en a la preuve dans la grande oolite qui, dans les comtés de *Sommerset* et de *Wilts*, est formée principalement de calcaires contenant en grande abondance des fossiles marins; tandis que les assises équivalentes du *Yorkshire* sont composées en majeure partie de couches arénacées, d'argiles schisteuses avec houille, et avec des restes excessivement abondants de plantes terrestres; les calcaires à fossiles marins sont des plus rares dans la grande oolite du Yorkshire. De même le vieux grès rouge, qui dans l'Herefordshire est un terrain puissant, est représenté dans le nord de l'Angleterre par un conglomérat quelquefois fort peu épais. Le calcaire carbonifère de l'Angleterre méridionale, dans lequel on ne trouve point de houille, est représenté dans le nord de l'Angleterre par des grès, des argiles schisteuses et de la houille, et le calcaire y est jusqu'à un certain point subordonné à ces couches. D'un autre côté, les caractères minéralogiques de certains groupes ou de leurs sous-divisions, sont presque identiques sur des surfaces très-étendues. Ainsi c'est un fait bien connu que la craie blanche conserve ses caractères minéralogiques, depuis les côtes de la mer d'Azof, dans une partie de la Russie, de la Pologne, de la Suède, dans le nord de l'Allemagne, jusque dans les îles Britanniques et sur une grande partie de la France. Il est des argiles du groupe oolitique qui se suivent sur de grandes surfaces, et les caractères minéralogiques généraux de la grauwacke présentent une analogie remarquable en Europe et dans l'Amérique septentrionale.

On demandera quelle utilité il peut y avoir à tenir compte des caractères minéralogiques des terrains, puisque ces caractères sont si variables. Il est pourtant facile de voir, avec un peu de réflexion, qu'il est de la plus haute importance de signaler ces changements de structure; car ils prouvent que pendant le dépôt d'un groupe quelconque ou d'une de ses subdivisions, les mêmes circonstances ne régnaient pas sur toute l'étendue de la surface recouverte par ce dépôt; de sorte qu'en tenant compte du genre de changements qui ont lieu dans la nature de ce dépôt, on peut arriver à connaître les circonstances qui ont produit ces changements.

Soit *a*, *b*, *c* (fig. 10) une surface recouverte par un dépôt d'origine mécanique, c'est-à-dire formé avec des détritus de roches préexistantes, et supposons, par exemple, que cette surface soit de mille milles carrés; admettons qu'on trouve en *a* un grès à grains très-fins approchant de l'argile; en *b* un grès plus grossier, et un

Fig. 10.



conglomérat en *c*; et que chacune de ces roches passe insensiblement à l'autre, de manière à ce qu'on ne puisse douter que le tout ne soit géologiquement contemporain, ou formé pendant une même période géologique. Il est évident que pendant la formation de ce terrain il ne régnait pas sur toute la surface qu'il recouvre aujourd'hui, des circonstances exactement semblables. Comme c'est une eau courante qui, suivant toute probabilité, a transporté les diverses particules composant ce terrain à la place qu'elles occupent respectivement aujourd'hui, on peut conclure que la vitesse de cette eau n'était pas la même sur tous les points; car il est évident qu'une vitesse qui, toutes choses égales d'ailleurs, n'aurait pu que transporter la vase en *a*, ne serait point capable de mouvoir le sable grossier qui est en *b*, tandis que les fragments plus volumineux et les cailloux du point *c*, ne pourraient être transportés par une force qui suffirait tout justement à déplacer les particules du sable *b*. On peut donc admettre qu'il y avait en *c* une force de transport plus intense qu'en *a*, et que l'intensité de cette force allait en décroissant entre ces deux points; et par conséquent que, si une même masse d'eau courante a charrié à leur place respective actuelle tous les éléments détritiques, la vitesse de cette eau allait en diminuant de *c* en *a*. Lorsqu'il s'agit d'argiles sableuses ou même de sables, il n'est pas toujours facile de reconnaître par l'examen des particules des roches le lieu d'origine de ces particules; mais il en est autrement pour la plupart des fragments et cailloux, dont on peut reconnaître souvent l'identité avec des roches plus anciennes qui sont en place dans la contrée même où existe un conglomérat, ce qui amène à reconnaître la direction que suivait le cours d'eau qui transportait ces fragments.

Nous n'entrerons ici dans aucun détail sur la manière dont les courantes peuvent distribuer les divers détritus, car ce que

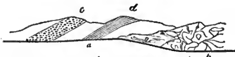
Google

ıs venons d'en dire n'a été que pour faire voir toute l'importance observations relatives à la texture des roches d'origine méca-ıe, et l'application qu'on peut faire de ces observations dans recherches sur la partie théorique de la géologie.

ɔrsqu'on examine un terrain dont une partie se compose de roches allines, sans débris organiques, tandis que d'autres parties, au l'être cristallines, sont arénacées et remplies de restes animaux gétaux, il est évident qu'une partie de ce terrain s'est formé 'empire de circonstances qui ne s'étendaient pas sur toute sa e; et si l'on veut s'élever de la considération des roches en nêmes à celle des causes probables qui peuvent les avoir pro- il est évident qu'il importe d'observer ces différences avec grand soin, car on ne peut approcher de la vérité qu'en bien ınt les faits et en bien pesant toute leur portée.

avons supposé dans la figure 10, pour être plus facilement , qu'il s'agissait d'un dépôt horizontal qui n'avait point été t par des dépôts plus récents; mais il arrive le plus souvent couches des divers terrains ne sont point horizontales et ont reconvertes par d'autres couches sur la plus grande l'étendue qu'elles occupent. Les divers terrains sont sou-ɔssés comme dans la coupe verticale de la figure 11, dans

Fig. 11.



uppose que le terrain stratifié *a* a été relevé à l'une de s par l'intercalation de la roche ignée *b*, ou bien que les terrain ont pris dès leur premier dépôt une inclinaison même à 40° [1]. Dans les deux cas les changements de peuvent avoir lieu entre les couches *c* et *d*, ou bien e des couches du terrain *a*, ne peuvent s'observer que rements des couches coupent la surface du sol, ou ıs verticales naturelles ou artificielles, telles que des ·ières, etc. Les lignes d'intersection de ces couches clinées avec le plan de l'horizon, s'appellent la ligne c'est en observant les changements qui s'opèrent ·ection dans certaines couches ou dans le terrain

ɜrches *sur la partie théorique de la géologie*, p. 34. — la note de la page 54.

Digitized by Google

Fig. 12.

dont ces couches font partie, qu'on peut arriver à reconnaître des faits géologiques fort importants. Supposons, par exemple, que les lignes *a b* et *c d* représentent l'allure ou la direction d'une partie très-inclinée de la grauwacke du sud du Devonshire, où de tels changements sont très-communs, et que la distance entre ces deux lignes est d'un mille environ. On peut avoir en *e* un schiste argileux qui passe en *f* à une grauwacke arénacée, qui devient un quarzite en *g*, d'où la roche passe encore en *h* à une grauwacke arénacée, qui en *i* devient plus argileuse, tandis qu'en *k* on aura un schiste argileux et en *l* un schiste presque ardoise. C'est en reconnaissant les diverses structures minérales des terrains fossilifères, et en tenant compte de la grandeur des surfaces qu'occupe chaque structure minérale particulière, qu'on arrive à juger de l'importance de chacun des changements de structure, et par suite de la cause probable de ces changements.

On peut arriver ainsi à quelque notion sur les divers degrés de force qu'une eau courante a dû avoir pour transporter les fragments enlevés à des terrains préexistants, et les déposer dans une nouvelle position ; on peut souvent reconnaître aussi le lieu d'origine de ces détritus et l'importance relative des dépôts chimiques qui sont associés aux roches d'origine mécanique dans une même période géologique : mais ce ne sont pas là les seules notions que puisse nous donner l'étude des terrains fossilifères; nous en apprenons encore qu'il a existé à la surface terrestre des espèces d'animaux et de plantes différentes de celles qui existent de nos jours, et qu'il y a eu des créations successives d'êtres organisés, appelés à la vie et détruits suivant les conditions qui existaient à la surface entière du globe ou sur des portions plus ou moins étendues de cette surface. Les débris organiques contenus dans les couches terrestres, offrent encore d'autres faits du plus grand intérêt, soit sous le rapport zoologique et botanique, soit sous le rapport géologique. C'est au botaniste et au zoologiste qu'appartient l'étude spéciale des restes organiques et le classement des êtres auxquels ces restes ont appartenu, à la place qu'ils doivent réellement occuper dans la grande série du règne organique général; tandis que le géologue recueille les déterminations des naturalistes, et les combine avec les causes probables qui peuvent avoir donné lieu aux dispositions que présente à la surface de la terre la matière inorganique.

Nous sommes forcé de renvoyer aux ouvrages spéciaux pour les
istes des différents restes organiques des terrains fossilifères qui ont
té décrits jusqu'ici[1]. Ces listes sont bien plus complètes que ne
ourraient le penser les personnes étrangères à la science, et on y
connait le grand avantage dont la division du travail est dans
pratique; car, quoique plusieurs des fossiles connus aient été
bliés par de véritables géologues, le plus grand nombre en a
rtant été recueilli par des personnes qui ne faisaient point de
éologie leur occupation spéciale.
n croyait autrefois qu'un ensemble donné de fossiles animaux
égétaux, caractérisait les dépôts d'une époque géologique don-
sinon sur toute la surface du globe, du moins sur des régions
étendues de cette surface. Mais la distribution de la vie animale
égétale à la surface terrestre est tellement variée aujourd'hui,
n'y a point de naturaliste qui puisse s'attendre à retrouver
ément les mêmes animaux et les mêmes plantes dans des
és fort éloignées l'une de l'autre, lors même que ces localités
rfaitement analogues sous le rapport du climat et de toutes
es circonstances : il s'ensuit donc que l'hypothèse qui admet
fossiles déterminés doivent toujours se retrouver dans des
de la même époque géologique, sur quelque point que ce
la surface terrestre, est entièrement en opposition avec la
ion actuelle de la vie animale et végétale.
néralisations précipitées sont fort communes dans l'enfance
e toutes les sciences; elles ne sont nuisibles que lorsqu'on
ut prix les soutenir après qu'on a pu se convaincre par
de leurs vices. Aujourd'hui on croit le plus généralement
êmes fossiles caractérisent les terrains contemporains sur
s d'autant plus étendues que ces terrains sont plus an-
-à-dire, qu'on doit s'attendre à trouver plus d'uniformité
imaux et végétaux fossiles sur des points éloignés entre
rauwacke, qu'on n'en trouve dans des points du groupe
situés aux mêmes distances. C'est là, en effet, ce qui
lieu dans les localités qu'on a étudiées avec soin jusqu'à
is il ne faut point trop se presser d'admettre cette
mme étant d'une vérité absolue, avant que les obser-
été bien plus multipliées qu'elles ne le sont aujourd'hui.

[1] ...siles du groupe supracrétacé (ou terrains tertiaires), on pourra
...cipes de géologie de M. Lyell, 3.e volume de la 1.re et de la 2.e
ceux des terrains compris entre les groupes crétacés et de la
...ement, la traduction française du Manuel géologique de M. De

ıe que cette hypothèse soit fondée, il est difficile d'une manière absolue; car on ne peut guère ormité de circonstances tellement complète que dû en être absolument identiques sur toute la sans que des causes locales aient donné lieu à ı, On peut, en outre, citer des preuves directes ssiles dans les terrains même les plus anciens sur endues. Si le contour irrégulier de la figure 13

Fig. 13.

e de huit ou dix mille milles carrés, occupée dont la continuité soit bien évidente, malgré vert çà et là par des dépôts plus modernes, ; les restes organiques contenus dans un tel ment les mêmes aux divers points *a*, *b* et *c*. fossiles marins se trouvent seuls en *a*, tandis débris organiques indiquant la proximité des usivement des végétaux terrestres en *c*. Indé-ngements dans les caractères zoologiques du aurait probablement aussi des différences a nature minéralogique : ainsi on pourrait ur ou presque pur, qui deviendrait argileux ès, des schistes et même de la houille pour-masse du dépôt.

is par ce qui précède, combien il importe s organiques et minéralogiques dans l'étude ar c'est ainsi qu'on peut arriver à connaître t contribué à la production de ces terrains. ussi de constater si vraiment les caractères fossilifères anciens se soutiennent sur de ceux des terrains modernes; car, quelque t être sous le rapport minéralogique les les considère en masse, il n'en est pas

dé ava on couc se so que l qu'on végéta terrain se faire dépôts, la coupe figure 15

figure 1

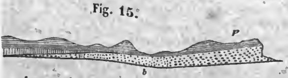
t évident que, s'il y a une telle différence entre le mode de
ution des restes organiques des diverses époques géologiques,
t qu'il existât à une époque plus qu'à une autre des causes
es de modifier cette distribution. Ce n'est que par des obser-
multipliées qu'on pourra arriver à quelque chose de positif
gard : et la solution de ce problème géologique, ainsi que
plusieurs autres, peut être aussi bien due à celui qui ne
ncera à observer qu'après que la lecture de cet ouvrage lui
ntré la possibilité de le faire avec avantage, qu'aux personnes
consacré des années entières à l'étude et qui, en véritables
géologiques, ont ouvert les premiers sentiers, que leurs
rs peuvent ensuite parcourir sans grande peine.
e des terrains fossilifères sont superposés en stratification
nte (c'est-à-dire, lorsque leurs couches reposent les unes
tres, comme dans la figure 14, de manière qu'il soit bien

Fig. 14.



ue les couches *d* n'ont point été soulevées ou disloquées
t des couches *c*, et ainsi de suite pour les couches *b* et *a*),
nt que les restes organiques qui se trouvent dans les
es terrains, proviennent d'animaux ou de végétaux qui
lé à la place où on les trouve, dans le même ordre
es elles-mêmes. Il ne faut pas admettre pourtant, ainsi
quelquefois, que la même succession d'animaux ou de
lieu sur toute la surface du globe; car, quoique des
nt en stratification concordante sur un point, il peut
ans leur prolongement, il y ait intercalation d'autres
n ne soupçonnerait pas l'existence à voir seulement
figure 14. Supposons, par exemple, que dans la
représentent les mêmes terrains que *a* et *b* de la

Fig. 15.



rait avoir au point *o* un terrain *m* intercalé entre

Digitized by Google

perdre entre les points *o* et *p*; c'est-à-dire que son épaisseur verticale est allée en diminuant peu à peu, de manière que l'étendue horizontale du terrain *m* n'est point aussi grande, dans cette localité, que celle des terrains *a* et *b*. Il ne s'ensuit pas pourtant que la surface totale occupée par le terrain *m* ne puisse être plus grande que celle des deux autres, car il se peut que les terrains *a* et *b* s'amincissent à leur tour dans une autre direction, au point de se perdre entre d'autres terrains.

Lorsque deux terrains fossilifères reposent l'un sur l'autre en stratification discordante, c'est-à-dire lorsque, comme dans la figure 16,

Fig. 16.



un terrain *a* repose sur la tranche des couches redressées *b, c, d, e, f*, on ne peut point conclure que les animaux et les plantes dont on trouve les restes dans le terrain *a*, ont succédé immédiatement à ceux dont on a les dépouilles en *b*; car il peut avoir existé au-dessus de la couche *b* une suite d'autres couches qui auraient été enlevées par *dénudation*, c'est-à-dire démolies par la force d'érosion d'une masse d'eau en mouvement avant le dépôt du terrain *a*; et si l'angle d'inclinaison des couches est aussi considérable que dans la figure 16, on doit conclure que les couches *b, c, d, e, f* ont été redressées par une action violente, avant la formation du terrain plus récent *a*. Il existe en outre une autre sorte de superposition, qu'on peut appeler *irrégulière*, lors même que les couches de deux terrains qui se trouvent en contact, prises dans leur ensemble, sont parallèles les unes aux autres. Ainsi, lorsqu'on voit, comme dans la coupe ci-jointe (fig. 17),

Fig. 17.



que la surface supérieure d'un terrain fossilifère *a* a été ravinée par

ux, avant qu'un autre terrain fossilifère *b* vînt la recouvrir, aucune preuve que les animaux et les plantes qui existaient du terrain *a*, aient été suivis immédiatement par it le dépôt des organismes dont on trouve des restes dans le terrain *b*. Il a ter, en effet, après la formation du terrain *a*, d'autres dépôts diaires, qui auraient été démolis par les eaux avant la formation du terrain *b*.

ıe on ne peut entrer dans des détails plus circonstanciés, s'agit de tracer simplement une esquisse de l'état actuel ologie, nous allons dire quelques mots des terrains ignés ensuite à ce qui est l'objet particulier de cet ouvrage, à server. On appelle *ignés*, les terrains composés de roches *it admettre* avoir été jadis à un état de fluidité dû à l'action feur, et avoir ainsi coulé à la surface d'autres terrains, ou njectées entre les diverses parties de ces terrains, ou bien oir été poussées à travers ces terrains jusqu'à la surface

ıs les volcans la preuve directe de la possibilité que des état de fusion soient portées par des forces intérieures à *le* la terre, où elles ruissellent suivant les lignes de plus e sous la forme bien connue de courants de lave. Lorsque, quelque changement survenu dans l'orifice volcanique, miner de grandes coupes naturelles d'un cratère, on elquefois que les roches en fusion se sont intercalées ises de cendres provenant d'anciennes éruptions, dans était produit des fissures qui avaient été remplies ensuite ı de la roche à l'état liquide.

avoir observé des faits analogues dans les relations utres roches, telles que les granites, les grünsteins, etc., qu'on a été amené à admettre que ces roches ıne origine ignée, quoique sous des conditions qui récisément identiques avec ce qui se passe dans les *Lorsqu'on* voit, par exemple, une masse de granite *a* ·e dans une roche bien véritablement stratifiée, *bb*,

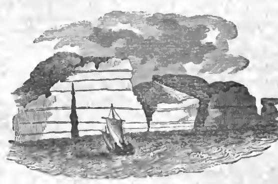
Fig. 18.



des filons, *cc*, qui coupent le plan des couches dans différentes directions, et qui quelquefois même ont empâté des fragments de la roche *bb*, on est bien en droit de conclure que le granite en question a été jadis à l'état de fluidité ignée; qu'il a été poussé à travers le terrain *bb* par des forces agissant de bas en haut, et qu'une partie de la roche en fusion s'est insinuée dans des fissures, *cc*, formant ainsi des filons dans les couches préexistantes, qui en même temps ont été relevées hors de leur position horizontale. On arriverait à la même conclusion, si, au lieu d'un granite, c'était un grünstein, un porphyre, un basalte ou toute autre roche qui eût été ainsi injectée.

Lorsqu'une masse allongée et aplatie, telle que celle *a* (fig. 19)

Fig. 19.

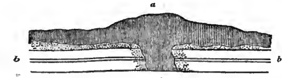


coupe une série de couches *c*, et que cette masse est composée de substances analogues à celles qui constituent le grünstein, le porphyre ou autres roches semblables, on admet que les couches *c* ont été continues jadis; qu'elles ont été fendues ensuite, et qu'une roche à l'état de fusion s'est élevée dans la fente et en a rempli la cavité. On donne à ces masses intercalées, consolidées, telles qu'on les trouve aujourd'hui, le nom de filon, ou *dyke*, et on les distingue, suivant la nature de la roche, en *dykes* de grünstein, de porphyre, basaltiques, etc. On donne encore le nom de *dykes* à ces masses de roches intercalées, lors même qu'elles ne s'élèvent point jusqu'à la surface du sol et qu'on ne les connaît que par des coupes naturelles ou artificielles, comme en *b* (fig. 19).

On a quelquefois la preuve évidente que certaines roches ignées, après avoir traversé des couches préexistantes, se sont répandues

…-dessus de ces couches, et y ont donné lieu à des masses tantôt …tièrement apl…es, tantôt en forme de dôme. Lorsqu'on trouve, …omme dans la coupe suivante (fig. 20), un massif supérieur, *a*,

Fig. 20.



d'une roche donnée, telle que du grünstein, qui en même temps coupe en *c* le terrain préexistant *b b*, sur lequel le massif du grünstein repose; on en conclut que le terrain *b b* avait été fendu en *c*, et que la roche en fusion s'est élevée à travers cette fissure pour s'épancher à la surface du sol en *a*. Si, le terrain *b b* étant un calcaire compacte fossilifère, on trouve que les parties qui sont en contact avec le grünstein ou qui en approchent, sont à l'état cristallin; ou bien si, le terrain stratifié étant un grès, ou un schiste, on le trouve fortement durci, et même avec une tendance à une modification dans la disposition des molécules de la roche; on conclut en outre que ces divers changements ont été dus à l'intrusion du grünstein à l'état liquide, ou très-fortement chauffé. Lorsque des terrains de sédiment ont ainsi subi l'action de la chaleur sur une grande échelle, et que les effets de cette action se prolongent à des centaines de pieds de la masse ignée, on dit que ces terrains ont été *modifiés*.[1]

La roche en fusion paraît quelquefois s'être élevée tranquillement dans une fissure, comme l'aurait fait tout autre liquide, jusqu'au niveau auquel elle pouvait être soutenue par une force proportionnée intérieure; mais il arrive, dans d'autres cas, tels que celui de la figure 21, que la roche ignée et les couches préexistantes se trouvent dans une telle relation de position, qu'il est difficile de ne point admettre que la pénétration de la roche ignée a été accompagnée d'un effort violent. Si *a* (fig. 21) représente une roche ignée intercalée dans un terrain stratifié *b b*, dont les couches sont relevées de chaque côté du dyke, on est en droit de conclure que la substance dont se compose ce dyke, a été poussée de bas en haut avec une

[1] Les géologues anglais ont donné aux roches de sédiment ainsi modifiées par la chaleur, le nom de *roches métamorphiques*; et ce nom paraît adopté aujourd'hui par le plus grand nombre des géologues du continent. (*Note du trad.*)

Fig. 21.



e capable de redresser de chaque côté les extrémités des cous bb. Il est à remarquer cependant que le cas de ce redressement couches des deux côtés des dykes, est bien plus rare que celui le terrain préexistant paraît simplement avoir été fendu, sans l y ait aucun indice d'effort de la part de la roche ignée.

l est des pays dans lesquels l'intercalation de roches ignées parmi couches préexistantes a donné lieu à des phénomènes géoloues très-importants, qui s'étendent aux terrains de tout âge, uis les terrains stratifiés inférieurs jusqu'aux dépôts les plus dernes inclusivement. Quelquefois le phénomène paraît avoir lieu, comme dans les volcans modernes, avec des éruptions de dres et de lapillis, soit immédiatement dans l'atmosphère, soit s toute autre pression relativement peu considérable; tandis ailleurs les roches ignées paraissent avoir été poussées en grandes sses ou sous une grande pression, ce qui a produit des effets s-variés, sur lesquels il est impossible de donner des détails dans courte esquisse telle que la présente.

On croyait autrefois que le granite était le terrain fondamental lequel reposaient tous les autres. Sans nous occuper maintenant la théorie qui suppose que, la masse de la terre ayant été jadis état de fluidité ignée, le granite a été la première roche qui a ulté du refroidissement de la masse en fusion, on peut remarquer endant que le granite est généralement plus abondant dans les rains stratifiés inférieurs ou non fossilifères, que dans les terrains silifères, et surtout que dans les plus modernes de ces terrains. Cedant il ne faut point croire qu'il n'y ait de granite que dans les rains inférieurs; nous ne savons même point quelle est sa limite érieure dans les terrains fossilifères, puisqu'on en a trouvé à inbohla de supérieur à la craie, et que par conséquent il faut il ait été poussé de l'intérieur à la place qu'il occupe aujourd'hui dant la période supracrétacée ou tertiaire.[1]

[1] Voyez *Bulletin de la Société géologique de France*, tom. 8, p. 243, sultats des dernières observations faites en 1836 à Weinbohla par M. Cotta. du *traducteur.*)

La masse des roches ignées paraît composée, en proportions variables, de silicates d'alumine, de magnésie, de chaux, de potasse de soude, ave quelques autres substances qui ne jouent qu'un le subordonné les roches dans lesquelles le silicate de chaux est it soit peu abo ndant, paraissent les plus fusibles, tandis que celles contiennent du silicate de magnésie paraissent les plus réfractes. C'est pourquoi les grünsteins, les basaltes et plusieurs laves contiennent en abondance de l'amphibole, ou de l'augite (celui-'étant probablement qu'une modification de l'autre), sont plus les que les roches où domine le mica, telles que plusieurs ites micacés. La plupart des granites sont réfractaires, surtout u'ils abondent en quarz. La serpentine est aussi d'une fusion lifficile; mais les roches dans lesquelles domine le feldspath ne point, en général, très-réfractaires.

a remarqué que la silice est plus abondante dans les roches anciennes que dans les modernes, tandis que le contraire a our la chaux (à l'état de silicate). Plusieurs de ces roches it n'avoir jamais été à l'état solide avant d'avoir été épanchées rface; tandis que d'autres peuvent facilement avoir été propar la fusion de roches solides préexistantes; dans l'un et cas les roches en fusion auraient été poussées de bas en haut forces agissant au-dessous de l'écorce terrestre.

DEUXIÈME PARTIE.

Dans toute recherche scientifique il faut, autant que possible, procéder du connu à l'inconnu; il nous faut donc commencer par observer avec soin les effets des causes qui produisent journellement à la surface du globe des changements géologiques; puis, en tenant compte de toutes les circonstances avec lesquelles les divers terrains se présentent à notre examen, nous chercherons de bonne foi et sans forcer la nature, jusqu'à quel point les phénomènes actuels peuvent expliquer la production des différentes masses minérales qui entrent dans la composition de la partie accessible de l'écorce du globe. Si, après un mûr examen, nous trouvions que les effets des causes qui agissent de nos jours pour modifier la surface terrestre, ne suffisent point pour expliquer complétement les phénomènes géologiques, il nous faudrait essayer de savoir combien il s'en faut qu'ils puissent suffire à cette explication et rechercher ensuite jusqu'où on pourrait arriver en supposant que les causes actuelles eussent agi jadis avec une plus grande intensité. Que s'il restait encore des phénomènes qu'on ne pût expliquer, même dans la supposition de cette énergie extraordinaire des causes actuelles, il faudra nécessairement avoir recours à différentes hypothèses fondées sur les grandes lois naturelles connues, en attendant que le progrès général de nos connaissances nous mette à même d'établir une théorie dont les diverses parties soient d'accord les unes avec les autres, et chacune avec leur ensemble général.

I. *Dégradation des roches.* Toutes les roches ont une tendance générale à être dégradées par l'action de l'atmosphère; les parties attaquées sont ensuite entraînées par les cours d'eau à des niveaux inférieurs à ceux qu'elles occupaient avant la dégradation de la roche, souvent jusque dans la mer ou d'autres grandes masses d'eau, où elles peuvent être distribuées de manière à produire de nouvelles accumulations de substances minérales, ou des *roches récentes,* ainsi qu'on les appelle, dans lesquelles des restes d'animaux et de végétaux peuvent ou non se trouver ensevelis, suivant les circonstances.

Afin d'apprécier l'action de l'atmosphère sur une roche donnée, l'observateur s'appliquera à connaître la quantité du change-

nt qu'éprouve... pendant une période quelconque les pierres de ...le employées dans la construction des édifices, et qu'on peut poser avoir o... cupé dans les carrières d'où on les a extraites des ...es dans lesqu... elles elles étaient à l'abri des influences atmosphé... es; il devra examiner avec soin si les changements qu'il observe dus à une action chimique ou mécanique de l'atmosphère et substances étrangères qu'elle peut contenir accidentellement; ...-dire qu'il observera si quelques-uns des éléments constituants ...pierre sont entrés en combinaison chimique avec les éléments ...r on des substances accidentelles que l'air peut contenir; si les ... extérieures ont été enlevées par l'action du frottement de l'eau, ...a conversion en glace des particules qui, s'étant infiltrées dans ...stices de la pierre, les ont écartées par leur augmentation de ... ou par toute autre cause analogue. Il faudra noter avec soin ...ure de la pierre; si elle est homogène, comme le calcaire ... ou le marbre; ou bien si elle est composée de substances ...sées aux mêmes causes de dégradation, opposent à ces causes ...s divers de résistance, tels que le sont les granites, les ...ats et plusieurs grès.

...ien tenir compte de la diversité d'exposition, en observant l'orientation des édifices; et si les mêmes matériaux sont ...ifféremment sur les diverses façades, on essayera de ... raisons de cette différence, telles que la direction domi...le pays, des pluies d'orage et des grands vents. Un archéo...erait chimiste lui-même ou qui se ferait aider dans ses ...ar un chimiste, pourrait ainsi recueillir des documents ...ort utiles, tout en s'occupant de ses études spéciales. ...as aussi facile de calculer l'effet de la dégradation des ...nent la surface du terrain, effet qui est compris entre ... roche convertie en terrain propre à la culture, et ...ervé toute sa solidité primitive; car on n'a point de ...précier le temps depuis lequel ces roches sont exposées ...tmosphériques; on ne peut pas apprécier non plus ...arties de la roche décomposée qui peuvent avoir ... les changements de la végétation à la surface du ...isieurs circonstances, peuvent avoir influé sur le ...sition de la roche inférieure. Cependant on peut, ...ns bien faites, arriver à des résultats importants. ... hautes montagnes, où des masses de roches sont ...ées à toute l'action de l'atmosphère, elles y soient ...légradées, on ne peut cependant y déterminer ... des pays moins élevés, la profondeur jusqu'à

laquelle une roche donnée a été attaquée par les influences météorologiques ; car dans les pays de montagnes la surface des roches est le plus souvent exposée de manière à ce que les parties qui s'en décomposent sont facilement entraînées, par l'action de l'eau, à des niveaux moins élevés. On pourrait, à la vérité, estimer d'une manière grossière la quantité de la matière enlevée à la surface d'une roche, d'après la saillie qu'offrent aujourd'hui les protubérances de matière plus résistante qui n'ont point subi d'altération, si l'on pouvait se former une idée un peu exacte de la forme de ces montagnes au moment où elles prirent leur relief actuel et avant qu'elles n'eussent subi aucune influence atmosphérique. Malheureusement la stratification des chaînes de montagnes prouve généralement que les roches dont elles sont composées ont évidemment été fortement fracturées lorsqu'elles ont été portées à leur place actuelle ; et il s'ensuit que la surface des montagnes peut, autant que nous pouvons en juger, avoir été plus inégale et plus tourmentée encore qu'elle ne l'est aujourd'hui.

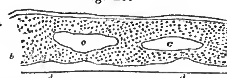
On peut, au contraire, arriver à des notions plus satisfaisantes, dans des régions moins élevées ; par exemple, à la cime de collines arrondies, où les eaux courantes n'ont point d'action sensible et où l'on est bien sûr qu'il ne s'est point arrêté de matières de transport. L'observateur cherchera s'il existe des excavations vers le centre du dôme que forment de telles collines ; et il pourra y reconnaître souvent de bons exemples de dégradation des roches. Il peut se faire qu'il trouve un granite désagrégé de la manière indiquée dans la coupe ci-jointe (fig. 22), dans laquelle *a* représente le terreau végétal

Fig. 22.

(ainsi qu'on appelle communément le sol à la surface des roches), *b*, un granite désagrégé, et *c*, un granite solide et non altéré. Dans ce cas il importe de vérifier si les éléments du granite en *b* sont identiques avec ceux qui se voient en *c* et s'il ne se pourrait point que la masse *b* eût été amenée à sa place actuelle par quelque cours d'eau. On peut trouver quelquefois aussi le granite désagrégé de manière à laisser des noyaux solides enveloppés par des parties tom-

bées en décompos[illegible]on. On en a la preuve dans la coupe de la figure 23, qui est prise sur [illegible] route entre *Okehampton* et *Moreton-Hampstead*, dans le Devonshir[illegible] *a* y représente le terreau végétal; *b*, le granite en

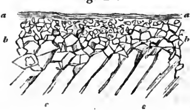
Fig. 23.



décomposition; *cc*, des noyaux solides arrondis de granite non altéré, enveloppés dans les parties décomposées, et *d d*, le granite solide. Dans une telle coupe l'observateur devra examiner en détail toutes les circonstances de gisement, afin d'être bien sûr que les parties *cc* ne sont point des blocs de granite qui ont été transportés de loin avec un amas de gravier granitique, *b*. Dans le cas que nous citons, on voit de gros cristaux de feldspath disséminés sur tous les points de la roche, tant dans les parties décomposées que dans celles qui ne sont point altérées, et ces cristaux conservent partout la même disposition relative. L'altération du granite s'est surtout faite ici par une action chimique, le feldspath y ayant été décomposé au moyen des actions atmosphériques.

Il existe diverses roches dont les éléments constituants ne peuvent facilement se combiner avec aucun des principes de l'air, ou de l'eau qui serait contenue dans l'atmosphère, qui sont trop compactes pour que l'eau puisse s'infiltrer en quantité un peu considérable dans les interstices de leurs molécules, et qui cependant peuvent subir une désagrégation considérable par la tendance qu'ont ces roches à se déliter en fragments lorsqu'elles sont exposées à l'influence de l'atmosphère. Ainsi l'observateur pourra suivre souvent la désagrégation d'un calcaire compacte ou d'un grès solide, de la manière indiquée dans la figure 24, dans laquelle *a* représente le sol végétal, *cc*, un

Fig. 24.



grès très-dur, tel qu'on en trouve dans les terrains de grauwacke, et *bb*, des fragments de la même roche, plus volumineux dans le voisinage de *cc*, et faisant évidemment partie des couches inférieures, tandis que les fragments supérieurs sont plus petits, plus confusément mêlés, mais toujours encore anguleux.

On pourrait arriver à des renseignements fort utiles, si, chaque fois qu'il y a lieu de creuser des excavations un peu profondes pour l'établissement de routes ou pour tout autre objet, on faisait sur les surfaces mises à nu des entailles d'une forme et d'une profondeur données, avec la date de l'année; il faudrait noter quel était l'état de la roche à sa surface, au moment où l'on a fait l'entaille, ainsi que toutes les circonstances accessoires, et déposer ces notes en un lieu de sûreté. On ne devrait naturellement faire les entailles que sur des parties de la roche qui n'aient point encore été exposées à l'action directe de l'atmosphère, et par conséquent à une profondeur convenable au-dessous des parties de la roche déjà altérées, et sur des points qui soient en même temps à l'abri de toute autre action que celle des influences atmosphériques.

c. Lorsque l'observateur voudra déterminer le degré de désagrégation ou décomposition qu'une roche aura subi par l'influence de l'atmosphère, il devra tenir un compte exact de l'action que la végétation peut exercer, suivant les diverses circonstances, pour empêcher, faciliter ou modifier cette influence. La végétation peut empêcher la dégradation des roches, en faisant obstacle à l'alternation rapide de la gelée et du dégel; elle peut aider à l'action des grandes pluies, en conservant sur les points saillants des roches plus d'humidité qu'ils n'en auraient sans cela; enfin, la végétation peut modifier les effets atmosphériques, suivant la nature des plantes qui peuvent recouvrir un pays à une époque donnée; car une région couverte de forêts se trouvera dans des circonstances très-différentes, relativement à la dégradation des roches qui en forment le sol, que lorsque ces forêts auront été défrichées pour être labourées, ou que la même région sera couverte de pâturages.

II. Transport des détritus par les rivières. Les fragments des roches désagrégées par l'action atmosphérique, ont nécessairement des volumes différents, suivant la nature même de la roche et suivant les diverses circonstances qui ont accompagné sa dégradation. Les fragments anguleux de calcaire compacte, ou de grès très-dur, tels que ceux de la figure 21, offriront plus de résistance à un cours d'eau d'une force donnée quelconque, qu'un grès désagrégé en un sable de grains fins; c'est-à-dire, que si une même pluie d'orage tombe à la sur les deux roches, le sable désagrégé du grès pourra être

entraîné par les e…x, tandis que les gros fragments anguleux du calcaire resteront … place ; ou si les deux roches désagrégées sont exposées à l'action …u même ruisseau ou de la même rivière, le sable pourra être emme… par le cours d'eau, qui ne déplacera point les fragments du calc…re.

a. Lorsqu'un o…bservateur veut estimer la force de transport qu'exerce un cour… d'eau ou une rivière quelconque sur les détritus des roches préexi…tantes (détritus qui peuvent provenir soit de la *dégradation* de ces roches par des causes atmosphériques, soit de l'érosion des eaux courantes, dont nous nous occuperons plus tard), *il doit tenir* compte de différentes circonstances.

1.° Il doit porter son attention sur les diverses inclinaisons du lit *de la rivière* ; car la force de transport des rivières dépend de leur rapidité, et celle-ci augmente nécessairement suivant l'inclinaison du *lit dans lequel elle* coule ; c'est-à-dire que si *a b* (fig. 25) représente



Fig. 25.



la pente exagérée d'une rivière sur un point quelconque de son cours, et *b c*, la pente de cette même rivière sur un autre point, et que la quantité d'eau ne soit ni augmentée ni diminuée par des affluents d'autres cours d'eau, ou par la séparation de la rivière principale en différentes branches, la rapidité de l'eau sera beaucoup plus grande en *ab* qu'en *b c*, et par conséquent il peut rester au fond de la rivière en *bc* de plus petits graviers et du sable plus fin qu'il n'en restera en *ab*, parce que la force de l'eau pourra entraîner en *a b* des grains de sable et des cailloux plus volumineux qu'elle ne le fera en *b c*.

2.° On doit tenir compte de la forme tout autant que du volume des détritus ; car deux fragments de la même roche, quoique exactement de même volume, peuvent exiger des forces différentes pour *être changés de* place, si leurs formes sont différentes. Ainsi un fragment *anguleux* d'une roche donnée restera immobile au fond d'une rivière, dont …a force d'impulsion sera pourtant capable de faire rouler un frag…ment arrondi de la même roche, quoique les deux fragments aien… exactement le même volume.

Digitized by Google

3.° On doit prendre en considération, en outre, la pesanteur spécifique des différents cailloux ou fragments de roche; car la force d'un cours d'eau qui pourra transporter des cailloux ou fragments d'un certain volume, sera tout à fait incapable de déplacer d'autres détritus de même forme et volume que les premiers, mais d'une plus grande pesanteur spécifique. Une rivière dont le courant pourra faire rouler une boule de marbre de trois pouces de diamètre, ne pourra point déplacer un boulet de canon de mêmes dimensions, en supposant que toutes les autres circonstances soient d'ailleurs égales.

Si l'on connaissait la vitesse d'eau qui est nécessaire pour charrier des fragments de volume, de forme et de pesanteur donnés, l'observateur n'aurait évidemment qu'à vérifier quelle est la vitesse d'une rivière pour connaître, sans autre examen, la nature des détritus qu'elle peut transporter. Malheureusement nous avons bien peu de notions satisfaisantes à ce sujet, et il faudrait faire des expériences directes pour savoir à quoi s'en tenir. L'on sait que si *acb* (fig. 26) représente la coupe d'une rivière, la plus grande vitesse d'eau sera en 1, et cette vitesse ira en décroissant à mesure qu'on approche des bords et du fond, ce qui peut être représenté par les couches d'eau 2, 2; 3, 3, et 4, 4; mais on ne connaît pas les lois de ce décroissement; ni la quantité de frottement qu'on doit avoir au fond et sur les côtés de la rivière, lorsqu'on a en son milieu 1 un courant d'une vitesse connue, et que l'on connaît d'ailleurs la profondeur de l'eau, la distance du centre au rivage et la forme du lit de la rivière. Dans une coupe comme celle de la figure 26, on doit

Fig. 26.

s'attendre à ce que le frottement d'une même couche d'eau ne sera pas le même vers les bords et au fond du lit, car le poids de l'eau sera plus grand au centre où la colonne liquide est plus haute.

4.° Il faut noter avec soin les temps d'arrêt qu'une rivière peut avoir à subir dans son cours, tels que des lacs, des plaines, etc. Faute de cette précaution, on pourrait croire, et l'on a cru en effet, que tous les cailloux qui se trouvent le long du cours des rivières, ont été amenés à la place qu'ils occupent par les cours d'eau actuels. Cela est vrai dans certains cas, mais il arrive bien souvent que la

chose est de toute impossibilité. Lorsqu'une rivière prend sa source dans de hautes montagnes, son cours, quoique très-rapide, est en général interrompu par de petites plaines, ou même par des lacs, qui arrêtent nécessairement les détritus plus volumineux; et cependant on trouve en abondance dans le lit de cette rivière, au-dessous de ces interruptions de son cours, des cailloux provenant des roches des cimes les plus élevées; cailloux qui ont été amenés de leur place originaire par des cours d'eau préexistant à l'ordre de choses actuel. Ainsi, les cailloux alpins de quelques-unes des rivières de l'Italie septentrionale ne peuvent point avoir été amenés dans les plaines de Lombardie par les rivières actuelles, puisque le lac Majeur, le lac de Como, et autres, arrêtent nécessairement les cailloux entraînés aujourd'hui des hautes sommités des Alpes par les torrents qui alimentent ces lacs.

c. Le moment le plus convenable pour estimer la force de transport d'une rivière, est celui des grandes inondations, durant lesquelles les eaux peuvent entraîner des fragments de roches qu'elles ne pourraient déplacer dans les circonstances ordinaires. L'observateur cherchera, autant que possible, à distinguer les uns des autres les divers effets compliqués d'une inondation dans un pays cultivé; examinant avec soin ce qui peut être dû à l'augmentation de la vitesse de la rivière; aux masses d'eau accumulées derrière des obstacles qui finissent par céder à l'augmentation de la pression exercée par ces masses; à la force de transport des eaux qui s'échappent de ces sortes d'écluses improvisées; et à diverses autres causes faciles à prévoir; en un mot, l'observateur aura à distinguer les effets dus à la vitesse de l'eau, à sa pression ou à son volume, et ceux qui seraient dus à la fois à la réunion de ces trois causes. Il évitera ainsi de confondre les divers effets, et d'attribuer à une cause ce qui en réalité serait dû à une autre.

d. La force de transport d'un courant, ou des marées le long des côtes, est la même, jusqu'à un certain point, que celle d'un grand fleuve sur l'un de ses bords. Si l'on suppose que le bord opposé manque, et si l'on imagine que la mer se meut dans la même direction que le fleuve, on a l'effet produit sur une côte par un courant ou par la marée, et cet effet suivra les mêmes lois que lorsqu'il s'agissait d'une rivière. Le frottement de l'eau contre le rivage en diminuera la vitesse, et l'on sait que la force de l'eau pour transporter les matériaux désagrégés, dépend de sa vitesse. Quoique les promontoires et les caps qui s'avancent dans la mer soient nécessairement plus sujets à être détruits par l'action des courants, de la même manière que doivent l'être dans une rivière les obstacles qui s'opposent

à son cours, cependant l'action d'un cours d'eau d'une vitesse donnée sera beaucoup moindre, toutes choses égales d'ailleurs, sur une côte de cent lieues que sur les bords d'une rivière ayant de même cent lieues de long; car, dans une rivière, lorsque le courant principal est rejeté de la rive droite à la gauche, il est bientôt renvoyé à la rive droite encore par l'action de la rive opposée; tandis que sur une côte il arrive difficilement qu'un courant soit renvoyé vers la terre lorsqu'il a dévié par la rencontre d'un cap ou promontoire. Il s'ensuit que, en ce qui concerne la seule vitesse de l'eau, la force de transport sera moindre, toutes choses égales d'ailleurs, le long des côtes de la mer que sur les bords d'une rivière.

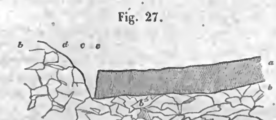
Le temps le plus convenable pour étudier les effets d'un courant ou de la marée sur une côte, est celui où la mer est parfaitement calme, c'est-à-dire lorsqu'il n'y a point de vagues. Dans tout autre moment l'action réunie de la mer et de l'atmosphère donne lieu à des effets compliqués qu'on a souvent attribués, à tort, à une seule cause. Sans doute que les courants et la marée ont une plus grande rapidité lorsqu'ils sont poussés par des vents très-forts, et il faut tenir compte, dans ces cas, de cette augmentation de vitesse; cependant, lorsqu'on observe ce qui se passe sur une côte dans de telles circonstances, il faut avoir soin de séparer l'action des vagues de celle qui n'est due qu'au frottement de la masse d'eau en mouvement.

III. *Force d'érosion des rivières.* Lorsqu'on observe une masse d'eau bien claire qui est poussée contre quelque roche peu solide, on voit à l'évidence que l'eau peut, lorsque sa masse et sa vitesse sont suffisantes, user cette roche par son frottement. Cette force d'érosion est augmentée de beaucoup lorsqu'une masse d'eau en mouvement, telle qu'une rivière, est chargée de détritus; car alors le frottement est plus fort. Il y a plusieurs choses à observer dans les diverses circonstances qui accompagnent des érosions de cette nature.

a. Si la masse d'eau en mouvement est une rivière, il faut examiner avec soin les dégradations qu'une roche peut avoir subies avant d'être exposée à l'action de l'eau, afin de ne point donner trop de valeur à la faculté qu'aurait cette rivière d'user la surface d'une roche donnée. Comme il arrive que certaines roches ont une beaucoup plus grande tendance à se dégrader lorsqu'elles sont soumises à une alternative fréquente de sécheresse et d'humidité, il faudra observer si l'eau de la rivière monte et baisse assez considérablement pour que cette oscillation ait une influence appréciable sur les roches de ses bords.

b. Lorsqu'on a des raisons pour supposer que des ravins et des entailles profondes dans le sol ont été creusés par les rivières actuelles, il faut tenir un compte exact de toutes les circonstances qui peuvent avoir accompagné une telle érosion. Si un obstacle, tel qu'un courant de lave, vient tout à coup à barrer une vallée, les eaux sont nécessairement retenues en amont de cette digue à une hauteur correspondant au point le plus bas de l'obstacle qui vient ainsi empêcher leur écoulement vers le bas de la vallée. Si l'on rencontre dans la nature une coupe comme celle de la figure 27, dans laquelle un

Fig. 27.



courant de lave, *a*, a barré une vallée préexistante creusée dans le granite *b b b*, et qu'une rivière coule aujourd'hui dans un ravin, *c*, il ne faut point se hâter de conclure que toute la profondeur du ravin a été produite par l'érosion de la rivière, car il a pu facilement arriver que le courant de lave n'ait jamais barré la vallée dans son entier, et qu'il y ait toujours eu une ouverture entre la sommité *e* de l'escarpement de la lave *a* et le granite *d*. On pourrait même admettre *à priori*, qu'il a dû exister une telle ouverture par le retrait qui se serait opéré lors du refroidissement de la masse de la lave. Que s'il était bien prouvé que la lave se continuait jusqu'au granite *d*, il ne faudrait point en conclure que la même masse d'eau pourrait creuser la lave elle-même à une égale profondeur; car, dans le cas de la figure 27, la rivière qui coule dans le ravin *c*, agissait à la ligne de séparation de deux roches, qui, par elle-même, était plus facile à élargir, et en outre, suivant toute probabilité, la surface du granite *d* avait dû être altérée par les actions atmosphériques avant que le courant de lave vînt barrer la vallée. Lors donc que l'eau a commencé à agir avec toute sa force d'érosion sur les parois du ravin *c*, la condition de ces parois était telle que leur destruction ne peut point donner une mesure exacte de l'action que la même masse d'eau aurait exercée pendant un même laps de temps sur un granite qui n'aurait point subi de dégradation.

l'observateur doit s'être bien assuré que ce grande fente dans le terrain qui en constitue les flancs. Ainsi lorsqu'il trouvera un ravin qui lui *paraîtra* creusé par l'érosion de la rivière qui coule à son fond, il devra chercher avant tout à se bien démontrer que ce n'est point là, ainsi qu'il arrive fréquemment, une fissure du sol. Si A et B (fig. 28) représentent les coupes de deux ra-

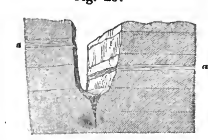
Fig. 28.

vins, et qu'un observateur, parcourant le fond de ces ravins, cherche à découvrir leur origine, il pourra conclure, au premier abord, soit qu'ils ont été creusés par les rivières qui y coulent, soit qu'ils sont dus à des fissures anciennes, suivant ce qui se combinera le mieux avec ses idées préconçues. Pour éclaircir la question, il recherchera si les deux côtés du ravin ne sont point liés en quelque sorte par quelque crête suivie de rochers saillants à fleur d'eau; s'il rencontre une telle crête, il vérifiera si une couche quelconque, *a*, y est bien suivie sans interruption et sans rupture; car, s'il n'y a aucune rupture, il est évident que le ravin ne sera point dû à une fente, mais qu'il résultera d'une excavation dans le massif de la roche, ainsi qu'on le voit en A. Si, au contraire, l'observateur ne peut reconnaître une couche qui s'étende bien décidément d'une rive à l'autre sans aucune interruption, la question restera indécise; car les blocs, les cailloux ou le sable qui forment le fond de la rivière, peuvent aussi bien recouvrir la continuité des couches que l'affleurement d'une fente telle qu'on la voit au point *c* dans la coupe B.

Dans les deux ravins de la figure 28 nous avons supposé, pour mieux nous faire comprendre, que les couches se correspondaient d'un côté à l'autre de la vallée. Mais s'il se trouvait que les couches fussent tellement disposées de chaque côté du ravin que, par leur différence de niveau relatif, le prolongement d'une couche, quoique

horizontal, n'allait pas joindre de l'autre côté la partie de cette couche qui lui correspond; c'est-à-dire, si l'observateur reconnaît, comme dans la figure 29, qu'une couche horizontale bien distincte, *a*,

Fig. 29.



est plus élevée d'un côté du ravin que de l'autre, il en conclura de suite que la rivière a agi sur une crevasse, et que le ravin actuel résulte de l'action combinée de plusieurs causes, savoir, d'une crevasse dans le massif du terrain et ensuite de l'érosion du cours d'eau le long de cette ligne de fente. Que si, les couches étant verticales, il se trouvait que leur prolongement ne se rencontrât pas d'un côté de la rivière à l'autre, on en conclurait que le terrain a été disloqué et que la rivière a suivi la ligne de dislocation. Supposons que la figure 30 représente le plan d'un ravin, *ab*, dans lequel coule une

Fig. 30.

rivière, et que les diverses couches des deux côtés soient verticales, au lieu d'être disposées en assises horizontales, comme dans la figure 29. Si l'observateur reconnaît que les couches 1, 2, 3, 4 ne se correspondent point d'une rive à l'autre, il en conclura que toute la masse du terrain a été disloquée et que la rivière suit une ligne de fracture.

Digitized by Google

même qu'on est assuré qu'un ravin est la partie supé-
grande crevasse, ou d'une solution de continuité dans
des deux rives, il reste encore à juger quel a été l'effet
l'érosion de la rivière sur cette crevasse, en bien exami-
constances générales du lit de cette rivière, la dureté de
i compose les flancs du ravin, et celle des cailloux et
le roches entraînés par l'eau, surtout lors des grandes

u'il y a quelque motif de supposer qu'il a pu exister au-
lac dans la ligne de quelque grande vallée, soit qu'il y
vement général du terrain sur un point donné, ou qu'un
lave fût venu barrer la vallée et servir de digue pour
coulement des eaux; et que ce lac ait été ensuite mis à
que ses eaux auraient démoli peu à peu la digue qui les
l'observateur devra étudier la hauteur probable de la digue
avant qu'elle fût coupée, afin de pouvoir évaluer le volume
sse d'eau qui était ainsi retenue, la hauteur de la chute, la
l'eau à sa sortie du lac, et sa force d'érosion. Si la figure 31


Fig. 31.



ente la coupe longitudinale d'un lac, *a*, dont les eaux sont
es dans quelque grande vallée par un courant de lave, *b*, qui
versée; la hauteur de la digue, *b*, au-dessus de la continua-
du lit *cd* de la rivière, avant que son cours ne fût interrompu,
a indiquer la vitesse avec laquelle le trop plein du lac, *a*,
ndait vers *c*, et par conséquent sa force d'érosion. Cette vitesse
force d'érosion, qui en est une conséquence, ont dû diminuer
sure que le courant de lave était entaillé et que la hauteur de
ute de l'eau diminuait.

L'observateur ne doit point négliger les effets de l'érosion des
eaux de second ordre et de celle des grandes pluies d'orage;
quoique ces effets ne paraissent point fort considérables au pre-
abord, cependant il est certain que les plus petits cours d'eau

apportent à des niveaux inférieurs de grandes masses de détritus très-fins, qui s'accumulent dans des situations favorables, ou qui sont transportées ensuite plus loin par les grandes rivières, qui finissent par les livrer à l'action de la mer. Sous les tropiques des pluies de quelques heures seulement ont une force d'érosion surprenante, surtout dans les localités qui ne sont point protégées par la végétation épaisse si commune dans ces contrées.

f. Depuis que l'on s'occupe en géologie de l'observation des faits, la force dont on a le plus exagéré l'importance, est certes la facilité qu'auraient les courants et les marées de démolir les côtes ou de creuser des vallées au fond de la mer. Cette exagération paraît due au manque de bonnes observations, et quelquefois aussi au manque de toute idée bien définie de la force que l'on invoquait ainsi pour soutenir des théories particulières. Aussi est-on tombé dans des erreurs presque inconcevables relativement aux effets géologiques dus à ces actions. Nous avons appelé plus haut l'attention de l'observateur sur la force de transport des courants et des marées. Pour juger de leur force d'érosion, il devra examiner avec soin la vitesse des eaux ainsi mises en mouvement, la profondeur à laquelle peut s'étendre cette vitesse, et le ralentissement de l'eau à l'approche de la côte ou du fond, là justement où sa force d'érosion commence. Pour arriver à des notions précises sur ces effets d'érosion, il faudra répéter les observations aux saisons de l'année et aux heures du jour où la marée atteint son maximum de force, ayant soin de choisir un temps de calme parfait. Ces observations doivent être faites, naturellement, à la ligne de jonction de l'eau avec la terre, car c'est là seulement que peuvent avoir lieu les effets de l'érosion. Il est presque inutile d'ajouter que le moment le plus convenable pour juger des effets des marées, est pendant les *marées d'équinoxe*, car c'est alors qu'elles montent et descendent avec le plus de rapidité.

IV. *Action des vagues sur les côtes.* Lorsqu'on examine dans leur ensemble les effets de cette action, on n'a pas de peine à se convaincre que les vagues sont le plus puissant des agents qui tendent à dégrader les côtes.

a. Pour bien juger de l'intensité de cette force et de ses effets, il faut se trouver sur une côte exposée à toute la fureur des vagues, telle que la partie occidentale de l'Irlande, le promontoire de *Land's End* en Cornouailles, ou les îles occidentales de l'Écosse, pendant une tempête venant de l'Ouest, et y voir se briser à la rencontre de la côte les vagues immenses de l'Atlantique. Le choc est quelquefois si terrible que la terre paraît en trembler sous les pieds. On trouve en général dans ces localités que les rochers, quoique creusés

Digitized by Google

s bizarres les unes que les autres, sont pour-
ostances les plus dures ; car aucune autre roche
à l'action presque continue d'une force si éner-
té présent à ces scènes de destruction, l'obser-
x apprécier les effets des vagues sur des roches
uand même ces vagues seraient infiniment moins

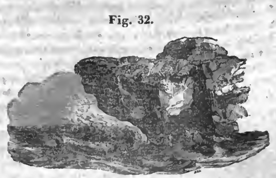
devra remarquer avec soin quelle est la direction
nts, et quelle est la fréquence du celui qui produit
vagues, afin de pouvoir estimer quelle a été la
côte sur les points où la force des brisants est la
la plus continue. Ainsi, sur une côte où dominent
st, et au devant de laquelle la mer s'étend à de
ces, on doit s'attendre à trouver que la dégradation
la plus forte sur les points exposés à l'Ouest, tandis
s de même nature ne seront presque point entamées
s sur les points exposés à l'Est.
côtes où il y a une marée sensible, l'observateur devra
de la quantité dont elle monte et descend, pour bien
force d'érosion des vagues sur ces côtes; car, toutes
es d'ailleurs, une plus grande surface des roches est
l'action des vagues là où l'oscillation de la marée est
, que là où elle est peu considérable. En outre, suivant
rface ainsi exposée à être alternativement humide et
par conséquent sujette à une dégradation facile, sera plus
plus grande aussi sera la quantité totale de cette dégra-
l ne faut point oublier pourtant qu'il est des cas où les
atteignent les falaises pendant la marée haute, tandis qu'à
e basse les vagues sont arrêtées par des plages de sable, et
côte est à l'abri de l'action des vagues tant qu'elles se brisent
plages; le temps pendant lequel les plages protégent ainsi
, varie suivant l'époque de l'année et suivant l'état général
tmosphère.

Pour peu qu'un observateur s'occupe de la force d'érosion des
es qui se brisent sur les côtes, il aura bientôt découvert qu'il est
ieurs circonstances qui tendent à modifier les effets de cette action.
rouvera que la démolition des côtes est souvent rendue plus
sidérable par l'effet de sources terrestres, qui, en humectant une
che, peuvent l'entraîner peu à peu, de manière que les couches
périeures, perdant leur support, s'écroulent vers la mer, où elles
trouvent ensuite soumises à l'action des brisants. Ailleurs, le pied
es falaises étant miné par les vagues, le poids de la partie qui se

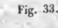
pe
qu'
pro
a pr

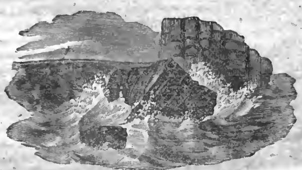
trouve ainsi en surplomb étant plus fort que la cohésion de la roche, la falaise en masse tombe au pied de l'escarpement. Si même une roche a une force de cohésion qui la rende capable de supporter sans tomber une excavation aussi considérable que celle de la figure 32, il doit arriver un temps, si les brisants continuent à agir dans la même direction, où la pesanteur de la masse en surplomb sera telle que cette masse devra nécessairement tomber.

Fig. 32.



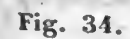
Mais lorsqu'une telle masse de rochers tombe au pied d'un escarpement, l'observateur doit diriger toute son attention à la protection qu'elle peut offrir aux masses restées debout. Afin d'apprécier cette protection, il examinera la dureté de la roche, la position qu'elle a prise au moment de sa chute, et la facilité qu'elle aura de briser

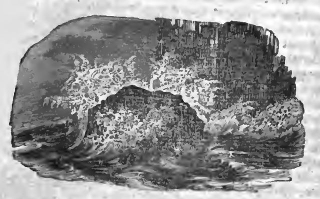

Fig. 33.



Digitized by Google

n de la côte. S'il s'agit d'une masse de roches ée dépendra en grande partie du côté de sa surface présentera aux brisants ; car, si elle est tombée de e le plan des couches soit faiblement incliné vers dans la figure 33, elle aura l'effet d'un mur qu'on dans la position la plus favorable pour protéger la les couches, après la chute, se trouvaient verticales, a figure 34, la destruction future de la masse éboulée


Fig. 34.



beaucoup plus rapide, et par conséquent elle protégerait les es de la côte pendant un temps moins considérable contre ion des vagues.

n peut rappeler ici que les incrustations produites par des aniux marins et la présence de plantes marines, tendent à protéger base des falaises sur les côtes exposées à l'action de la marée; bservateur devra surtout examiner l'influence protectrice qu'exernt les *balanus* dans plusieurs localités.

e. Il arrive quelquefois, lorsque la base d'une falaise est composée le couches peu résistantes, que la chute de la partie supérieure plus solide, qui est une suite de cette disposition, vient protéger les couches inférieures et arrêter l'œuvre de destruction pendant un temps dont la durée dépend de diverses circonstances. Si la figure 35 représente la coupe d'une falaise dont la partie supérieure, *a*, est composée d'une roche solide qui repose sur des couches moins résistantes, *b*, il est clair que l'action de la mer sur la falaise la minera en dessous et déterminera la chute de

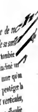
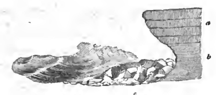


Fig. 35.



lambeaux des couches plus solides, *c*, qui, s'accumulant au pied de l'escarpement, le protégeront contre les attaques ultérieures des vagues, en raison de la quantité des fragments éboulés, de leur volume et de leur dureté. L'observateur trouvera que les fragments éboulés des roches modifient de beaucoup la force d'érosion des brisants, surtout pendant la marée basse, que ces roches soient par leur nature plus résistantes que celles du pied de la falaise, ou bien qu'il se soit accumulé au pied de l'escarpement des parties concrétionnées qui étaient disséminées dans des couches peu solides.

f. La force réelle qu'ont les brisants, de triturer les fragments des roches suivant le degré de leur dureté, et par conséquent la résistance que des roches données peuvent présenter à l'action des brisants, peuvent souvent se juger, d'une manière grossière, dans les plages de galets qui se forment dans des situations favorables. Il faut prendre bien soin cependant de peser toutes les circonstances qui accompagnent la production de ces plages, et il faut surtout s'assurer que des cailloux provenant de quelque conglomérat peu éloigné, ne viennent point s'ajouter à des fragments de la même roche que celle de ces cailloux, qui se détacheraient aujourd'hui des falaises qui existent le long de la côte. La même remarque s'applique aux graviers arrondis qu'entraînent les rivières voisines ou qui sont enlevés de la roche des falaises.

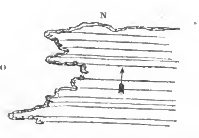
g. Lorsqu'un observateur cherche à estimer d'une manière générale la force d'érosion des vagues sur une grande étendue de côtes, il fera bien, outre la dureté relative des roches qui composent cette côte, d'examiner avec attention aussi la disposition des couches, s'il s'agit d'un terrain stratifié. Il trouvera que, fort souvent, le contour des côtes dépend, lorsque toutes les autres circonstances sont égales, de la direction et du p gement des couches. La position des couches relativement à l'ac des vagues, est nécessairement d'une grande importance; car ne série de couches telles que

Fig. 36.



celles représentées dans la figure 36, plongent vers la mer, l'action des vagues sur ces couches ne peut être que relativement insignifiante, puisque le retour d'une vague le long du talus diminue la force de la vague qui suit, et ce qui reste de cette force est employé à remonter le long du talus, qui n'offre aucun point saillant qui s'oppose aux vagues. C'est là où les tranches des couches d'un terrain quelconque sont exposées à l'action des brisants, que l'érosion produit le plus de dégâts. Supposons que la figure 37 représente une

Fig. 37.



ligne de côtes exposées au Nord et à l'Ouest, et que la force des vagues soit égale des deux côtés, les effets de destruction seront proportionnés nécessairement, dans ce cas, à la résistance qu'offrira le terrain lui-même. Si l'on suppose maintenant que le pays est composé d'un terrain donné, de grauwacke, par exemple, et que la direction des couches soit de l'Est à l'Ouest, et leur plongement de 45° environ au Nord, il s'ensuivra que les couches résisteront bien plus à l'action des vagues du côté du Nord, où les couches

Digitized by Google

nt sous la mer, que vers l'Ouest, où la tranche des mêmes
st exposée à toute l'action des vagues, qui finira par pro-
grand nombre de dentelures dans cette partie de la côte.
destructive des brisants se fait apercevoir souvent même
: où les couches plongent sous la mer. Les vagues agissent
s fissures de clivage et les joints des couches, ou sur
occasionnées par des failles; mais l'influence protectrice
plongement des couches vers la mer, se reconnaît tou-
à la dégradation due au fendillement des couches.
où l'observateur aura lieu de croire qu'il y a eu de
mme une démolition considérable des côtes, il fera
der aux habitants âgés, aux pêcheurs surtout, quelle
olition depuis leur jeunesse; il ne se contentera pas
ques générales, mais il cherchera à savoir avec pré-
sions du terrain qui a été enlevé par les eaux, en
ii dise positivement comment ce terrain enlevé était
la mer ne l'ait englouti. L'auteur de cet ouvrage
u citer, comme ayant été fortement entamés par
ts des côtes sur lesquels un mûr examen lui a
vait eu qu'une dégradation insignifiante; tandis
localités les dégâts de la mer avaient quelquefois
ous de leur importance réelle. On ne peut pas
sur les anciennes cartes des côtes, qui, pour
rèmement inexactes; il ne serait pas difficile
mparées à des cartes levées récemment avec
sible, indiquent une augmentation allant jus-
êtres, sur des points qui, au contraire, ont
destructions considérables.
s dans le cours des rivières et sur les plaines.
légradation que nous avons mentionnées plus
hes préexistantes une quantité considérable
ents plus ou moins volumineux, et les livrent
ui les tiennent en suspension mécanique ou
roulant sur le fond de leur lit, jusqu'à ce
ou des circonstances favorables permettent

enablement la distance à laquelle les dé-
went être transportés par un cours d'eau
rer séparément la quantité et la nature
implement être poussés en avant par la
l'eau agit à son fond ou sur ses flancs;
létritus que cette même vitesse d'eau

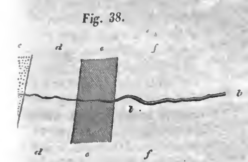
peut tenir en même temps en suspension mécanique. Dans le premier cas, c'est le frottement de l'eau sur le fond ou les flancs de son lit qui pousse en avant les détritus; tandis que, dans le second cas, les particules du détritus sont pour ainsi dire soutenues par la secousse que leur imprime le mouvement de l'eau ayant une vitesse donnée, de la même manière qu'un sable très-fin placé dans un vase d'eau, est tenu en suspension lorsqu'on agite cette eau. De même que ces sables restent en suspension mécanique dans l'eau du vase, tant que l'agitation de l'eau continue, de même aussi les détritus des roches sont tenus en suspension mécanique dans des masses d'eau beaucoup plus considérables, jusqu'au moment où, l'agitation de l'eau diminuant, les détritus qui ne sont plus soutenus se déposent au fond de cette eau.

b. L'observateur ne manquera pas de remarquer que dans les torrents dont les eaux sont rendues troubles par les détritus que les pluies ou d'autres causes leur ont amenés, ces eaux sont dans un état constant d'agitation, et que les sables et la vase ne se déposent que là où le mouvement de l'eau ne suffit point à les soutenir à l'état de suspension mécanique. Il verra, en outre, que le volume des fragments charriés dépend de la vitesse et de l'agitation des eaux. Quelques-uns des détritus sont tenus en suspension mécanique dans un torrent, tandis que d'autres, qui sont nécessairement les plus volumineux, sont poussés en avant par le frottement de l'eau contre le fond et les bords du lit de ce torrent. Il y a donc là un concours de deux causes contemporaines, qui tendent également à entraîner à des niveaux inférieurs des fragments des roches préexistantes.

c. Lorsque l'on trouve que de certains détritus donnés sont disséminés dans de l'eau en mouvement, il ne faut point trop se hâter de conclure que la vitesse dont l'eau est douée au moment de l'observation, suffirait à tenir constamment ces détritus en suspension; c'est-à-dire que ce même détritus continuerait à l'état de suspension mécanique aussi longtemps que la vitesse de l'eau resterait la même. Les détritus disséminés dans une eau tranquille, éprouvent, pour descendre au fond de cette eau, une difficulté mécanique proportionnée à la ténuité des fragments. La même loi subsiste lorsque l'eau est en mouvement, quoique, suivant toute probabilité, cette difficulté augmente avec la vitesse de l'eau, jusqu'à ce que la vitesse arrive au point de pouvoir tenir les détritus en suspension mécanique. Il est évident cependant qu'il y aura un point auquel la faculté de tenir ces détritus en suspension, due à l'agitation de l'eau, cessera entièrement, et alors commencera la sédimentation,

entera à mesure que l'eau passera graduellement de l'état
ment à celui de repos.
lépôts des détritus peuvent donc se former suivant des
rents, et l'observateur ne doit pas manquer de distinguer
ces qui en résulteront. Un dépôt produit par la force
de l'eau, qui elle-même provient du frottement de l'eau
nt sur le fond ou les flancs de son lit, offrira néces-
e autre apparence qu'un dépôt formé successivement
au fond d'une eau tranquille des particules de vase
L'impulsion des détritus continuera aussi longtemps
la force nécessaire, c'est-à-dire tant qu'elle aura une
lume suffisants. L'observateur pourra estimer la force
pour pousser en avant des détritus, d'après le volume
les sables de son lit, en tenant compte toutefois des
ances que nous avons mentionnées, et après qu'il
des différentes roches qui existent dans le cours
Supposons que la figure 38 représente le cours

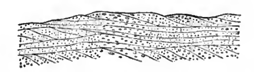
Fig. 38.



ers un pays composé de différentes roches
arriver à une contrée basse, *ff*, dans laquelle
t, et que la chute de la rivière, depuis le
ff, suffise à produire un courant capable
cailloux de la grosseur d'un œuf, là où
peut agir sur ces cailloux. Si la rivière
tels cailloux, il s'ensuit qu'elle peut,
illeurs, pousser aussi ceux de moindres
à la fin des détritus d'une dimension
r en suspension mécanique. Il se fera
détritus poussés en avant partout où
suffisants; et comme la force d'im-
... la quantité d'eau qu'elle con

tiendra, ces dépôts offriront un aspect irrégulier, ayant quelque rapport avec la coupe ci-jointe (fig. 39) et tenant surtout aux petits changements qui peuvent avoir lieu dans la force et la direction du courant.

Fig. 39.



Nous avons supposé dans la figure 38 que la rivière avait la force de transporter des cailloux jusqu'au commencement de la plaine, *ff*; il s'ensuit que l'on doit trouver en *l*, où la rivière commence à couler à un niveau plus approchant de l'horizontalité, des accumulations irrégulières de gravier et de sable grossier; car, à partir de ce point, le mouvement de l'eau ne suffit plus au transport des cailloux; mais il ne s'ensuit pas que le sable plus fin et la vase doivent s'accumuler de même au point *l*; car, quoique la rivière perde peu à peu la faculté de tenir en suspension mécanique les détritus moins grossiers, le temps qu'il faudra pour que ces détritus puissent tomber au fond de la rivière, peut être tel que toute la masse d'eau continue à couler dans la plaine en se conservant trouble et colorée, et ne déposant que bien lentement les matières détritiques; en outre, l'agitation de l'eau en mouvement peut suffire souvent à retenir à l'état de suspension les détritus les plus fins, qui ne se déposeront que lorsque la rivière sera entièrement arrêtée par un grand amas d'eau, tel qu'un lac ou la mer.

e. Dans de telles circonstances il doit nécessairement se produire un dépôt de matières de transport le long du cours d'une rivière; et il s'ensuit que le lit de cette rivière devrait s'élever progressivement, à moins que ces dépôts ne soient enlevés dans les grandes crues d'eau et transportés plus loin encore. L'observateur devra porter son attention sur cette circonstance. Le plus souvent un cours d'eau de quelque rapidité entraîne tout ce qui se trouve dans son lit, et même il tend à creuser ce lit plus profondément, lorsque les principaux creux en ont été comblés; mais là où cesse la rapidité de ce cours d'eau, il arrive souvent que l'eau, qui ne se meut plus qu'avec lenteur, laisse tomber les détritus qui ont été entraînés de niveaux plus élevés, de manière à ce que l'accumulation de ces détritus exhausse le lit de la rivière. Dans les plaines très-étendues, une grande quantité de

matériaux d'alluvion paraissent s'être accumulés par l'exhaussement
des lits des rivières, et par la tendance de celles-ci à quitter les lits
ainsi exhaussés pour couler à un niveau plus bas, jusqu'à ce que le
nouveau canal soit exhaussé à son tour; la plaine tout entière finit
le la sorte par être exhaussée d'une quantité sensible. Il s'ensuit que,
rsqu'on construit des digues pour contenir les eaux des rivières
i tendent à exhausser leurs lits, l'exhaussement y devient plus
ide que là où les détritus peuvent être rejetés hors du canal
cipal lors des grandes inondations. C'est là précisément ce qui
rrivé dans plusieurs parties de l'Italie; et les voyageurs y sont
nt plus frappés de cet état de choses, que, le pays y étant
é depuis un temps immémorial, il a fallu, depuis un temps
orial aussi, protéger le pays contre les ravages des cours d'eau
raversent; les digues ainsi construites devant être exhaussées
rtion de l'exhaussement des lits des rivières, il s'ensuit que
doivent monter pour passer ces rivières, qui coulent main-
des élévations du sol assez considérables.

'aut point supposer que les sables, argiles et graviers de
randes plaines, que l'on appelle souvent terrains d'allu-
été produits par le dépôt de détritus transportés par les
lles; car les restes organiques que l'on découvre dans
giles et graviers, prouvent souvent que quelques-uns
e sont faits sous les eaux de la mer, d'autres peut-être
n outre, les fragments de roches contenus dans les
nes, ont quelquefois des dimensions telles, qu'on ne
ils aient été transportés aux points où on les observe,
ctuelles. L'observateur devra donc examiner des
e qu'il a sous les yeux, soit le long de la rivière
uisseaux secondaires qui viennent s'y réunir, soit
ations artificielles, telles que des puits ou autres,
ie les sables, argiles et graviers de cette plaine
ransportés par les cours d'eau actuels. Il devra
grand soin s'il se trouve des fossiles dans ces
nature de ces fossiles pourra le guider dans
nera aussi si, parmi les cailloux des lits de
roviennent point des roches comprises dans
actuel, et qu'aucun des cours d'eau actuels
qu'ils occupent aujourd'hui. S'il ne trouve
hes provenant du bassin hydrographique

la force qu'on peut raisonnablement supposer aux rivières actuelles durant leurs plus grandes crues.

g. Tout le monde a remarqué, sans doute, combien les rivières ont de tendance à serpenter dans les pays de plaine. Le moindre obstacle paraît avoir suffi à détourner leur cours lorsqu'elles ont commencé à couler dans de tels pays. Si la vitesse de ces rivières est telle qu'elles puissent dégrader leur bord, ce sera surtout le sommet de chaque courbe qui sera entamé comme le point qui offre le plus de résistance au courant de la rivière. Il s'ensuit que, si deux coudes sont opposés l'un à l'autre, comme ceux de la rivière tracée dans la figure 40 le

Fig. 40.



sont en *a*, *b* et *c*, ils tendront à s'approcher l'un de l'autre et enfin à se joindre, de sorte que le cours de la rivière sera abrégé de toute la courbe comprise entre les deux coudes. Chacun sait que de tels changements de lit sont fréquents dans le Mississipi, et ils doivent avoir lieu nécessairement dans toute rivière qui se trouvera dans les mêmes circonstances. Il doit en résulter de grands déplacements des détritus charriés par cette rivière, et s'il se forme un dépôt quelconque dans les plaines qu'elle traverse, ce dépôt sera extrêmement irrégulier.

h. Lorsqu'on a occasion de voir une grande plaine inondée, ou recouverte par les eaux bourbeuses d'une rivière qui a débordé, il faut chercher à apprécier la quantité de la matière solide qui recouvrirait le sol préexistant si les eaux s'abaissaient lentement, de manière à permettre le dépôt d'une grande partie des détritus qu'elles contiennent. L'observateur pourra estimer la quantité de la matière solide tenue en suspension dans l'eau qui recouvre à la fois une certaine surface donnée, en remplissant de cette eau un vase de dimensions connues, d'un pied cube, par exemple, et mesurant la quantité de matière qui se sera précipitée au fond du vase après que l'eau sera devenue entièrement claire; de sorte qu'en calculant la hauteur de l'eau sur la surface inondée, et l'étendue de cette surface elle-même, il aura la quantité de matière solide qui *pourra* se déposer sur une plaine donnée pendant cette inondation. Si la figure suivante (fig. 41) re-

Digitized by Google


Fig. 41.



nte la coupe d'une plaine horizontale, *ee*, parcourue par une
e, *b*, qui est débordée par suite de grandes pluies et a recouvert
pays, *aa*, jusqu'aux collines, *dd*, il est bien difficile que,
t le retrait général des eaux, une partie considérable des eaux
ne rentre dans le lit de la rivière, *b*, et alors, tout en
it qu'il se ferait sur la plaine un dépôt général pendant que
masse des eaux était débordée, ce dépôt n'atteindrait pas
l'épaisseur que l'on aurait calculée d'après ce qui se serait
dans un vase d'un pied cube.
cas serait fort différent si, comme dans la figure 42, une
avait exhaussé son lit, de manière qu'il y eût de chaque



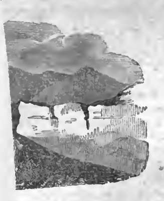
Fig. 42.

étendues de pays à un niveau inférieur à celui de
ébordement a lieu dans une telle rivière, de manière
ays, jusqu'aux collines *dd*, se trouve sous une eau
lors *toute* la matière solide contenue dans l'eau,
au des bords de la rivière, se déposera sur le sol
eau ; il pourra même s'en déposer une plus grande
t le plus fort de l'inondation, le niveau général
evé que les bords de la rivière; car, avant que
ces bords soit rentrée dans le lit de la rivière,
écipiter une partie des détritus qu'elle tenait
cette différence dans les résultats d'une inon-
ra bien de vérifier si le lit d'une rivière, ou
te rivière sont ou non plus élevés que le ni-
ée. C'est là nécessairement une opération
t de plaines de grande étendue ; mais elle

Digitized by Google

sujet, il est peut-être utile d'appeler
s accumulations de détritus qui sont
rincipales des pays de montagnes par
s ruisseaux arrivent avec toute leur
nt à peu près le même niveau qu'elle,
une grande accumulation de détritus
ns des circonstances extraordinaires,
la source du ruisseau secondaire, qui
e de la vallée principale; car, alors,
eau s'augmentant considérablement,
re principale une masse de détritus
e de déplacer, de sorte que la vallée
, se trouver barrée pendant un cer-
ui aurait nécessairement lieu lorsque
ale aurait acquis la force de renverser
traîner au loin les matériaux accu-
rive, comme dans la figure 43, par

;. 43.



ı de beaucoup plus élevé que celui
poser les détritus qu'il peut pousser
e divisé par moitié perpendiculai-
nserve indéfiniment, si la rivière
ie point avoir à ronger la base de
rables, dans quelques parties des
nisons et des terrains cultivés sur
l'abri de la course impétueuse du

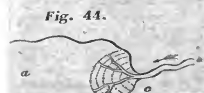
c
c
c
cc
év
da
ce
cas
entr
tend
tronq

Digitized by Google

s ou moins ramifié, qui descend à la plaine suivant les arêtes
'observateur fera bien de porter son attention sur la ma-
des masses anguleuses de toutes dimensions y sont confon-
rêle avec des argiles, des sables, des cailloux arrondis,
'arbre, etc.; car il pourra en tirer des idées qui lui seront
'il voudra déterminer l'origine probable des conglomérats
verse qu'il rencontrera dans des terrains plus anciens.
des détritus dans les lacs et dans la mer. On admet, en
le plus grand nombre des terrains divisés en couches, et
disposition a fait donner le nom de terrains stratifiés, ont
des dépôts de sédiments sous les eaux des lacs ou des
: donc important d'observer avec soin le mode suivant
us charriés par les rivières, ou provenant directement
écipitent au fond des lacs et des mers actuels. Dans
reusement trop nombreux, où le phénomène de la
dérobe à nos regards, l'observateur cherchera à
: que possible de la réalité des faits, en calculant
tances diverses qui peuvent concourir à la produc-
sédiment qu'il aura à étudier, et en tenant compte
:s locales qui pourraient y apporter quelque mo-

re une idée exacte de la manière dont les détritus
nt par la force d'impulsion de l'eau d'une rivière
ce qu'ils tombent dans un amas d'eau stagnante
nouvement, en observant comment le sable est
ruisseau dans un étang, où il s'accumule en
isation du mouvement qui le transportait. Il est
; effets analogues en jetant des grains de sable
ont la vitesse soit telle qu'il puisse transporter
ervoir quelconque. On trouvera dans les deux
petits monticules de sable là où le ruisseau
au stagnante, et que le sable ainsi accumulé
manière à former la moitié d'un petit cône
quel les petits canaux suivant lesquels l'eau

Fig. 44.



continue à pousser le sable, changent continuellement de position. Si, dans la figure 44, *a* représente un étang dans lequel un ruisseau, *b*, pousse du sable, ce sable, en tombant dans l'étang *a*, s'accumulera au point *c*, de manière à produire la moitié d'un petit cône tronqué de sable, dont la surface ira en augmentant, de la manière indiquée par les lignes concentriques en *c*.

Si l'observateur cherche maintenant quelle est la disposition que présenterait la coupe verticale de ces accumulations des grains de sable, il trouvera que cette coupe serait analogue à ce qui se voit dans la figure 45, dans laquelle *a* représente la surface de l'étang,

Fig. 45.

d, son fond, *b*, la pente du ruisseau qui pousse en avant les grains de sable, et *c*, les enveloppes successives formées par la chute des grains de sable à leur entrée dans l'eau stagnante; ces grains se plaçant en support les uns des autres sous un angle de 45°, ou plus petit, suivant les circonstances, comme cela se passe dans des tas de décombres sur la cime desquels on jette continuellement de nouveaux matériaux.[1]

[1] Ainsi que je l'ai observé ailleurs (Mémoires de la Société géologique de France, tome 2, page 206), je suis loin de contester l'exactitude de l'expérience faite par M. De La Bèche, sur l'inclinaison que peuvent prendre en arrivant dans une eau tranquille des détritus plus ou moins volumineux qu'une rivière ou un cours d'eau quelconque faisait rouler sur son lit en vertu de sa force d'impulsion. Mais les *strates* inclinées qui se produiraient dans les circonstances les plus favorables, peuvent-elles recevoir le nom de *couches?* Il me paraît que l'on pourrait tout aussi bien donner ce nom aux strates inclinées de la figure 39 (page 48), qui ne diffèrent de celles produites dans l'expérience de M. De La Bèche que par un degré d'irrégularité un peu plus prononcé. J'ai donc cru devoir traduire par *strates* les noms de *coats, layers, beds*, que l'auteur donne indifféremment à ces assises dans tout cet article sur les dépôts des détritus dans les lacs ou dans la mer, en réservant le nom de *couches* suivant la définition reçue par les géologues *aux masses minérales étendues en longueur et en largeur, mais d'une petite épaisseur relativement aux deux autres dimensions, et dont les deux surfaces sont parallèles entre elles.* Ces couches, déposées dans une position sensiblement horizontale, peuvent être composées de feuillets inclinés, comme ceux des figures 47 et 39, d'après les diverses causes qui auront pu modifier, pendant leur dépôt, l'action régulière de la sédimentation. (*Note du traducteur.*)

ce laquelle les grains de sable sont poussés par le ruis-
e les enveloppes successives du petit cône de sable sont
es au premier moment que ne le sont celles qui se dé-
rd; car, à mesure que le tas de sable s'augmente et que
onqué s'agrandit, la force du courant diminue au point
tombent dans l'eau stagnante, d'après la division du
tits filets d'eau et la diminution de la pente de leurs
il s'ensuit que les grains de sable sont poussés moins
, en tombant, un talus plus incliné. Il peut arriver
its cailloux, qui pouvaient être poussés en avant par
ors de la production des premières strates du petit
ourront plus être déplacés par les petits filets d'eau,
ont sur le sommet aplati du petit cône dès que ce
n peu avancé dans l'étang.

it monticule de sable aura acquis une certaine
vient à détourner le ruisseau, et que l'on pompe
manière à le mettre à sec sans que le petit mon-
, l'observateur sera à même d'en étudier la
n'à partager le monticule suivant son axe avec
utre instrument tranchant, et il aura une coupe
manière dont le petit cône a été formé. La
du petit monticule ne sera pas très-distincte
est en entier de même nature et de même cou-
l'a fait l'auteur de cet ouvrage, l'observateur
des sables de diverse couleur et à grains de
, dans un ruisseau qui les transportera dans
era à l'expérience que nous avons indiquée,
e ne verser un sable dans le ruisseau que
itre nature en aura été entièrement enlevé,
a facilement la position inclinée des strates
cule. Si pendant le cours de l'expérience on
olonté l'eau du ruisseau de manière à varier
tus qu'il peut entraîner, si l'on en trouble
temps, et qu'on laisse ensuite à ces trou-
oser en sédiments au fond de l'étang, on
dont les diverses combinaisons pourront
structives.

principe absolument que les détritus des
poussés le long du fond des rivières, et
ure dans les lacs ou la mer pour s'y accu-
de l'échelle le phénomène est beaucoup
que dans l'autre, et les diverses causes

nt beaucoup plus apparentes ; mais le principe
dans les grands amas naturels, tout comme
ticule de notre expérience, l'augmentation du
trates successives. Les cailloux ou les sables sont
ord de l'accumulation de matériaux incohérents,
ppui que leur donnait le lit du cours d'eau, ils
posent d'après les lois qui régissent la chute des
es circonstances.
ateur examine la manière de laquelle les détritus
quelque grand lac, tel que ceux de l'Amérique
uisse ou de l'Italie septentrionale, il trouvera le
variations considérables dans la nature et dans la
ainsi produits par les divers cours d'eau qui tom-
. Jusqu'ici nous avons parlé seulement des frag-
ières font avancer en vertu du frottement qu'elles
nd de leur lit; il est nécessaire maintenant d'ap-
lu lecteur sur les détritus qui peuvent être tenus
écanique par le mouvement de l'eau de la rivière,
l'acte même de leur chute lorsqu'ils arrivent dans
que la figure 46 représente un lac divisé en deux

Fig. 46.



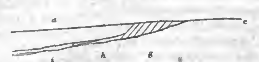
ar le rapprochement des deux rives sur un même
observateur veuille apprécier les effets du dépôt des
ans le lac par les cours d'eau *c*, *d* et *e*. Il notera
des diverses rivières, qu'il pourra estimer gros-
la pente de leur canal, et la quantité relative
tiennent; puis il considérera l'état plus ou moins
antité d'eau de chaque rivière. Dans le cas de la
ns que *c* soit la rivière principale qui alimente le
e d'une grande distance et qu'elle verse constam-

dans le lac une quantité d'eau considérable, et que le trop
de ce lac s'échappe par le canal de sortie *f*; supposons en
temps que *d* et *e* soient deux torrents qui tantôt descendent
ntagnes voisines avec une grande force, tandis qu'ils sont
à sec d'autres fois; supposons encore que les eaux de la
soient en général troubles, comme celles qui descendent des
les Alpes, et que le volume de ces eaux soit sujet à changer
s circonstances, ainsi qu'il arrive dans presque toutes les
e manière que la force de transport de la rivière *c* varie
verses saisons. Il est clair d'abord que les effets produits
re *c* seront plus constants que ceux des torrents *d* et *e*,
ux-ci puissent pendant un temps donné amener au lac
ande quantité de matière solide que ne le fait la rivière
Mais cela dépendra surtout des circonstances locales;
oserons, pour être plus clairs, que la somme des dé-
ans le lac par les deux torrents *d* et *e* est égale à ceux
rivière *c*.

après ces données, comment nous pourrons appré-
qui se produiront dans ce lac. S'il s'agissait d'obser-
asse dans un des lacs actuels, dont le remblai est
s commencé, il nous faudrait prendre note des pro-
s actuelles, surtout si nous voulions estimer le
pour que les détritus qui y arrivent de nos jours
à combler entièrement le lac; mais pour avoir
re de la nature et de la distribution des dépôts
d'après les données que nous avons admises pré-
ous transporterons au moment auquel a com-
lac, et nous supposerons pour plus de simpli-
ur est à peu près partout uniforme, quoique
u fond de ce lac doive nécessairement avoir
e sur les dépôts qui s'y feront. La rivière
nière que nous avons indiquée les détritus
r. le frottement qu'elle exerce sur son fond,
temps dans le lac une masse d'eau trouble
on sera arrêtée par l'eau stagnante; l'eau
s pesante que l'eau pure du lac, se préci-
fond du lac, ainsi qu'on peut le bien voir
le lac de Genève et dans plusieurs autres
vitesse avec laquelle les troubles entrent ... à cette
à des dista...

loin dans le lac qu'ils sont plus atténués, on aura en dernier résultat des effets assez compliqués, plus ou moins analogues à ce qui se voit dans la coupe suivante (fig. 47) dans laquelle *c* représente

Fig. 47.



la rivière, *a* la surface du lac, *g* les détritus accumulés par la force d'impulsion et le frottement de l'eau; *h* et *i* les dépôts résultant des troubles arrêtés par les eaux du lac, dépôts qui seront sableux en *h* et vaseux en *i*, parce que les détritus tenus en suspension dans l'eau de la rivière tomberont d'autant plus vite au fond du lac qu'ils seront plus grossiers. Il est évident qu'après un certain temps les détritus qui n'avancent que par l'impulsion de l'eau s'accumuleront au-dessus des sédiments déposés par les eaux troubles de la rivière, et par conséquent des *strates*[1] inclinées de détritus grossiers recouvriront les accumulations presque horizontales des sédiments plus atténués. Il serait beaucoup trop long d'entrer dans tous les détails des effets compliqués qui résulteront de cet état des choses; mais plusieurs de ces effets sont bien faciles à concevoir.

Revenons au lac de la figure 46, et supposons que, par suite des effets compliqués que nous venons de mentionner, la masse générale des sédiments apportés au lac par la rivière *c* occupe la surface pointillée *a*, c'est-à-dire tout le petit lac et une petite portion du plus grand. Il nous reste à considérer les effets produits par les torrents *d* et *e*; et pour rendre le phénomène plus instructif, nous supposerons que d'après la nature des terrains traversés par les deux torrents, celui *d* ne transporte que des fragments de roches solides, tandis qu'une grande quantité de matière terreuse et de roches aisément pulvérisées par le frottement seront mêlés aux fragments solides poussés dans le lac par le torrent *e*. Puisque le torrent *d* ne transporte point de matières terreuses, l'accumulation qui se formera à l'entrée dans le lac de ce torrent, consistera simplement en un monticule semi-conique de fragments, dont le sommet tronqué s'agrandira à mesure que les strates s'accumuleront sur les talus, tandis qu'aucun sédiment ne tombera au fond du lac au delà du pied de ces talus. Il en sera autrement à l'em-

[1] Voir la note à la page 54.

bouchure du torrent e; on y aura bien un monticule de fragments comme pour le torrent d, mais ces fragments seront mêlés à des matières terreuses, et une grande quantité de troubles se jetteront dans le lac pour y former un dépôt sédimentaire comme à l'embouchure de la rivière c.

On finira donc par avoir en d un tas de fragments solides, et probablement anguleux; en e, une accumulation analogue, mêlée ... sément avec des substances terreuses, et plus loin une masse ... diments sableux et vaseux, que nous supposerons recouvrir ... pointillé b; et en a, une accumulation de fragments plus ... ns arrondis, suivant toute probabilité, par le frottement; ... ation qui sera entourée par un dépôt sédimentaire de ma... s atténuées. Que si l'on considère que la forme de ces dépôts ... grandes modifications par les changements qui survien... temps à autre dans la quantité d'eau des rivières et des ... changements qui seront surtout sensibles en c, on aura ... énéral très-compliqué, qui subira des modifications bien ... érables encore, à mesure que le comblement du lac ... sorte que si le lac était entièrement comblé, et que ... d événement géologique mît au jour plusieurs coupes ... il y aurait bien peu de ressemblances minéralogiques ... es parties de ce dépôt général. Il ne faut point oublier ... lus l'une des causes de comblement prédominera sur ... il y aura de ressemblance dans les effets généraux ... lé le lac. Ainsi le Rhône est le principal agent qui ... lac de Genève, et si l'on imagine que ce lac soit ... é, le dépôt qui en résultera sera caractérisé par ... tés par le Rhône depuis les glaciers où il prend

... e différence entre les principes suivant lesquels ... sés dans un lac, et celui suivant lequel ils sont ... mais il existe dans ce dernier cas diverses ... s, dont l'observateur doit tenir compte lors... on des dépôts marins. Les diverses accumu... tritiques, telles qu'on en voit à l'embou... s, du Gange, et qui sont connues sous le ... osées à la fois des détritus poussés en avant ... contre le lit de la rivière, et des détritus ... s en suspension mécanique dans cette ... le se rappeler que l'eau de la mer a une ... ifique que l'eau douce; il s'ensuit que ... noins d'être considérablement chargée

de matières détritiques en suspension, est encore plus légère que l'eau salée, et qu'elle glissera à la surface de la mer jusqu'à une distance qui, toutes choses égales d'ailleurs, sera proportionnée à la vitesse et au volume de la rivière dont elle provient.

Au lieu donc de se précipiter en nuages, comme le font les troubles apportés par les rivières dans les lacs d'eau douce, les eaux troubles arrivant à la mer tendront à couler à la surface de l'eau salée, et là elles pourront être transportées beaucoup plus loin qu'elles ne le seraient dans les plus grands lacs, soit par le courant même de la rivière, soit par les marées ou par d'autres causes. Il s'ensuit que la même quantité d'eau trouble d'une même nature et ayant une même vitesse, produira un dépôt plus étendu et plus uniforme dans la mer qu'elle ne le fera dans un lac. Il y a pourtant encore ici des causes de modifications dont l'observateur devra tenir compte. Une rivière qui vient frapper contre une masse d'eau en repos sera nécessairement arrêtée d'autant plus brusquement que cette eau sera plus dense ; ainsi une rivière donnée quelconque serait plus tôt arrêtée lorsqu'elle tombe dans la mer que lorsqu'elle tombe dans un lac, si ce n'était que dans le premier cas elle coule à la surface, tandis que dans le second elle pénètre dans la masse d'eau douce, et elle est par conséquent plus tôt arrêtée par la même raison que la vitesse d'une rivière est plus retardée lorsque cette rivière passe à travers des sables que lorsqu'elle coule à leur surface.

La différence entre la densité de l'eau des rivières et celle de la mer aura encore un autre effet. Plus la densité du liquide est grande, plus des fragments de même pesanteur, de même volume et de même forme auront de difficulté à traverser ce liquide; en sorte que des détritus de même nature seront plus longtemps à tomber au fond de la mer qu'au fond d'un lac de même profondeur, et par conséquent ils seront exposés à plus de chances de mouvement dans un cas que dans l'autre. Il s'ensuit en outre que les détritus qui se déposeraient immédiatement lorsque la vitesse des eaux troubles d'une rivière est arrêtée à son entrée dans un amas d'eau douce, ne se déposeront pas aussi instantanément lorsque cette rivière tombe dans la mer. Dans le premier cas la rivière ne sera pas arrêtée avec autant de force; dans le second, les détritus auront à traverser, pour arriver au fond, un milieu plus dense, lors même que les eaux de la rivière et de la mer seraient, jusqu'à un certain point, mélangées. Ces réflexions suffiront pour diriger l'attention de l'observateur sur diverses causes de modifications, ainsi que sur d'autres idées qui sont une conséquence des précédentes.

Lorsqu'on veut faire des expériences directes sur la profondeur

quelle les troubles des rivières peuvent s'étendre, soit près de
embouchures, soit à quelque distance en mer, il faut se pro-
de l'eau à diverses profondeurs, à l'aide des instruments pro-
cet usage, et en examiner avec soin la pesanteur spécifique,
ne point se tromper sur la cause qui peut apporter des eaux
à la surface de l'Océan et à une grande distance des terres.
a prendre en outre la température à différentes profondeurs;
pourra tirer des données sur les densités relatives de l'eau.
procédant ainsi que le capitaine Sabine a pu conclure que
colorées du fleuve des Amazones coulaient à la surface de
trois cents milles de l'embouchure de ce fleuve.

évident que si les eaux de la mer sont en mouvement,
orteront dans le sens de ce mouvement une grande partie
qui étaient en suspension mécanique dans les rivières
chure. Or les eaux de la mer sont sujettes à deux sortes
ouvements, qui se font surtout sentir près des côtes
s-fonds; l'un de ces mouvements est dû aux *marées*;
st connu sous le nom de *courants*, est un résultat
'action des vents dominants, de l'évaporation qui
lieu dans une mer méditerranée communiquant avec
ière à consumer plus d'eau que ne lui en apportent
peut-être aussi, jusqu'à un certain point, du mou-
re autour de son axe. Parmi les courants marins,
s directions constantes ou presque constantes; les
me direction pendant quelques mois, et dans la
nt opposée pendant l'autre partie de l'année. Les
général dans deux directions opposées l'une à
une même masse d'eau est poussée en avant et
heures dans un sens et quelques heures dans
que des causes locales produisent des varia-
rée de chacun de ces mouvements, soit dans

ra donc porter toute son attention sur les
locales qui peuvent influer sur les dépôts
e qui tient aux courants et aux marées, et
peuvent exercer sur la côte; il aura soin
la profondeur de la mer dans laquelle
marées et les courants n'occasionnent que
vera, que, toutes choses étant d'ailleurs
nera à la limite du delta sera plus vaseux
uvements des eaux étaient plus actifs.
tenir compte de l'influence qu'exercent

Digitized by Google

les troncs d'arbre charriés par la rivière; car lorsque sa vitesse ne peut plus les soutenir, ils s'engagent dans la vase et y forment des obstacles à l'avancement des détritus, qui par conséquent s'accumulent près de ces troncs d'arbre. La forme extérieure du delta subit en outre de grandes modifications par la tendance qu'ont quelquefois les vagues à accumuler des sables sur les rivages, ainsi que nous le dirons par la suite.

g. Au milieu de tant de causes qui tendent à modifier le dépôt des sédiments, il serait très-difficile de donner des notions bien précises sur les caractères généraux des accumulations des détritus ainsi transportés dans la mer. Ces dépôts seront nécessairement plus compliqués dans une localité que dans une autre; il peut se produire des *strates*[1] inclinées, résultant des matériaux transportés par le frottement des eaux contre leur lit, et ce lit doit nécessairement tendre à changer souvent de place, tandis que le dépôt tranquille des sédiments tenus en suspension mécanique dans l'eau des rivières formera des couches plus horizontales. Les graviers et les sables grossiers seront d'autant plus rares dans ces dépôts, que le delta sera plus étendu, puisque la vitesse générale des eaux en sera d'autant plus diminuée, soit par l'horizontalité presque parfaite que le fond du lit de la rivière prend sur de plus grandes étendues, soit par les obstacles que peut rencontrer le cours rectiligne de la rivière; obstacles qui tendent à diviser le courant principal en un grand nombre de bras secondaires.

h. On a souvent essayé de calculer la quantité de matière solide qu'une rivière donnée peut transporter jusqu'à la mer, ou jusqu'à un lac qu'elle traverserait; mais si l'on examine scrupuleusement la manière dont ces expériences ont été faites, on finit par trouver qu'on ne peut guère se fier aux résultats de ces calculs. Que l'on se rappelle que les détritus sont transportés par les eaux de deux manières différentes, c'est-à-dire en roulant sur le fond ou tenus en suspension mécanique, que ces deux manières existent souvent à la fois dans la même rivière, et l'on comprendra que les observations qui ne portent que sur l'un des modes de transport seulement, ne peuvent donner une idée exacte de la quantité totale des détritus portés à la mer par une rivière. La quantité relative des détritus roulés sur le fond d'une rivière ne peut guère se calculer que d'après le temps nécessaire à combler ou recouvrir un espace donné quelconque, c'est-à-dire à combler une cavité dont on connaît la profondeur et la surface, ou à faire avancer un delta jusqu'à une

[1] Voir la note à la page 54.

tance déterminée, pourvu que l'on connaisse, dans ce dernier
, le talus du delta et la profondeur de l'eau dans laquelle il
ance. Si l'empiétement d'un delta sur la mer provenait des seules
ères que la rivière pousse sur le fond de son lit, on y aurait
on moyen de connaître l'importance de ce mode de transport;
comme la masse du dépôt est due en partie aux sédiments pré-
s des eaux troubles au moment où le courant en est presque
, il est évident qu'on ne peut avoir là aucun résultat satis-
. Il importe de se rappeler que les mêmes détritus qu'une
peut tenir en suspension mécanique dans la partie supérieure
cours, peuvent tomber au fond, lorsque sa vitesse diminue
ant dans les plaines, et ne plus avancer qu'en vertu du
nt de l'eau contre le fond de son lit; et que cette dernière
ut cesser, si la vitesse de la rivière vient à diminuer encore;
u'il ne s'ensuit nullement, lorsque l'on connaît exactement
é des détritus tenus en suspension mécanique dans les eaux
ère donnée, sur un point de son cours éloigné de la mer,
uisse dire que tous ces détritus seront réellement trans-
u'à la mer, quand même il n'y aurait point de lac dans
létritus dussent nécessairement se déposer.
'é ordinaire que l'on emploie pour calculer la quantité
erreuses tenues en suspension mécanique dans les eaux
e rivière, c'est de reconnaître la forme du lit de la
ı de l'observation, et sa vitesse que l'on suppose indi-
ité de l'eau qui passe sur ce point pendant un temps
nd ensuite une mesure quelconque de cette eau, un
exemple, qu'on laisse déposer, et on vérifie la quan-
t qui s'en est précipité. Quelquefois on puise l'eau
s points différents de la largeur de la rivière, mais
on se contente d'en prendre sur un seul point, à
centre du courant. Nous ferons observer, en pre-
ne connaît point exactement les lois suivant les-
l'une rivière peut être diminuée par le frottement
et contre le fond de son lit, et que sans cette
t impossible de calculer exactement la quantité
r un point de cette rivière pendant un temps
d lieu, qu'on ne sait pas sur quel point il fau-
our avoir une moyenne de la quantité de dé-
ır la rivière[1]. L'observateur éprouvera donc

[1] rques sur ce même sujet dans les *Recherches sur la*
éologie, page 47.

Digitized by Google

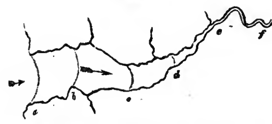
de grandes difficultés à calculer la quantité des détritus qu'une rivière transporte à la mer ou sur un point donné de son cours : ces difficultés ne doivent point l'empêcher cependant de faire tous les essais qui seront en son pouvoir dans l'état actuel des connaissances sur cette matière ; car, pourvu qu'il indique toutes les précautions qu'il aura prises pour se tenir en garde contre les diverses sources d'erreur, ses observations ne seront certes point entièrement perdues.

i. Dans les localités où les marées recouvrent, lors des hautes eaux, une partie des deltas, comme il arrive à l'embouchure du Gange, il faut tenir un compte exact des modifications qu'elles peuvent apporter dans la formation des dépôts de sédiment. Il ne faut point négliger non plus l'influence des mangliers, qui, dans les climats tropicaux, contribuent puissamment quelquefois à déterminer l'accumulation des détritus.

k. Il est presque inutile de rappeler que toutes les rivières ne forment point de deltas à leur entrée dans la mer ; il en est au contraire qui ont de grandes embouchures dans lesquelles la marée agit librement. Les circonstances locales donnent lieu nécessairement à des effets très-variés, entre ce qui se passe dans l'embouchure, en forme de golfe, du Saint-Laurent, et les deltas de l'Indus et du Gange. L'observateur trouvera qu'il y a beaucoup moins de rivières ayant des golfes à leurs embouchures dans les mers sans marée sensible et dans les lacs que sur les côtes de l'Océan ; et que dans les bras de mer aux embouchures des rivières la marée est très-forte, toutes choses étant égales d'ailleurs. La production des deltas doit tenir en grande partie aux détritus qu'une rivière peut faire avancer par le frottement contre le fond de son lit. La quantité des détritus portés à la mer dépend nécessairement de la nature des terrains que traversent les rivières ; mais à circonstances égales, les rivières qui peuvent pousser devant elles les fragments les plus pesants et les plus volumineux, auront le plus de facilité à former un delta.

l. Lorsque l'embouchure d'une rivière est exposée à toute l'action du *flot*, cette action tend à empêcher la formation d'un delta, à moins que la force du courant, et la quantité des détritus qu'elle charrie, ne soient très-considérables. Si la figure 48 représente un bras de mer exposé à la direction du *flot*, la marée montera davantage en *a*, où elle entre dans le golfe, que dans la haute mer ; elle s'élèvera plus encore en *b* et elle y aura plus de vitesse qu'en *a*, parce que la même quantité d'eau à peu près y est chassée dans un canal plus étroit. La marée continuera ainsi à augmenter de vitesse et d'élévation jusqu'au moment du reflux, où, perdant la force

Fig. 48.



lsion que lui donnait l'élévation de l'eau à l'embouchure du
elle commencera à se ralentir et à baisser, faute d'appui ;
frottement sur les côtés et le fond du canal (qui a toujours
que influence pour retarder le mouvement du flux), la pente
la rivière, et la force des eaux douces qui étaient retenues
là, s'uniront pour arrêter tout à fait la marée montante.
ivons supposer que dans le golfe représenté dans la figure
augmente de vitesse et de hauteur depuis *a* jusques en *d*,
is *d* il va en diminuant jusqu'en *f*, où il est entièrement

t de suite que la force de transport d'une masse d'eau
e doit considérablement varier d'un point à un autre.
s de la rivière dont le golfe forme l'embouchure sont
cette masse d'eau, qui tantôt est portée vers la mer,
nte la rivière, suivant que la marée monte ou descend.
agitation de l'eau du golfe suffit à tenir en suspension
plus fins, ces détritus ne peuvent se déposer que sur
i une diminution du mouvement de l'eau permet leur
es détritus ne peuvent former un dépôt permanent que
s des côtes sur lesquels ils ne sont point exposés à
risants ; de sorte que, à moins que la quantité de
s'accumule pendant une année, ne soit plus grande
e les brisants enlèvent pendant le même temps, il
cun dépôt permanent. Il s'ensuit que, malgré l'appa-
que présentent en général les rives des golfes situés
des rivières, il ne s'y fait d'accroissement permanent
les circonstances mentionnées ci-dessus, ou lorsque
ssent des plages de galets ou de sables sur les côtes
forment ainsi des barrières contre leur propre ac-
ıe l'espace qui reste en arrière de ces plages peut
des sédiments, si de petits canaux de communi-

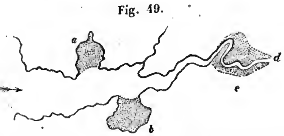
Digitized by Google

cation peuvent y amener les hautes eaux du golfe, ainsi qu'il arrive fréquemment.

m. Les détritus qu'une rivière fait avancer sur son fond en vertu de son frottement contre ce même fond, sont arrêtés nécessairement par le flux, qui peut même quelquefois les faire remonter. Comme la force des marées varie constamment, et que la même chose a lieu pour la rivière, suivant la quantité de ses eaux, il y aura un certain espace où pourront s'accumuler, suivant le cas, les sables et les graviers poussés par la rivière et arrêtés par le flux; ce sont les *barres*, dont la situation dépend d'un grand nombre de circonstances locales, et l'observateur chargé d'examiner un golfe d'embouchure ou une rivière, devra nécessairement tenir compte de toutes ces circonstances.

Cependant une grande quantité de détritus sera versée dans tous les cas dans la masse des eaux du golfe; et quoique la force des marées dans ces golfes d'embouchure soit telle à pouvoir tenir en suspension mécanique une quantité considérable de matières détritiques, de manière à en rendre les eaux excessivement troubles, il est clair que, s'il ne se faisait aucun dépôt, ces eaux finiraient par être une masse de boue. Aussi trouvera-t-on que le fond de ces golfes, et tous les lieux qui se trouvent à l'abri des grands mouvements, tendent à être comblés, avec la différence cependant que les dépôts qui se forment au fond du golfe contiennent plus de gravier et de sable que ceux qui ont lieu dans les criques latérales, dans lesquelles il ne se verse aucun ruisseau capable de transporter des détritus grossiers. Pour mieux nous faire comprendre, supposons que la figure 49 représente un golfe à l'embouchure d'une rivière;

Fig. 49.



on trouvera, dans ce cas, que le dépôt qui se forme au fond du golfe, en *c*, contient, à sa partie inférieure surtout, plus de graviers et de sables que ceux des criques *a* et *b*; ce qui résulte de ce que les détritus poussés par la rivière *d* ont été arrêtés en *c*; tandis

les dépôts *a* et *b* sont formés par les sédiments résultant de
t de repos plus ou moins parfait, suivant les circonstances,
lequel se trouvent les eaux troubles qui ont pénétré dans les
es du golfe.

gré ces dépôts partiels qui ont lieu au fond et sur les côtés
lfe, il doit arriver un temps (en supposant que la rivière con-
pendant des siècles à charrier une grande quantité de dé-
que toutes les criques seront comblées, et qu'il ne pourra
former de dépôt qu'au fond du golfe. Tout en supposant
lépôt se continue, la quantité de détritus qui jusque-là se
dans les criques, devra aller quelque autre part, et à
t'elle ne trouve où se déposer, elle rendra les eaux du golfe
n plus troubles. Dans ces circonstances le dépôt pourra
dans le golfe même, ou bien les sédiments pourront être
à la mer pour s'y distribuer sur son fond. Dans le pre-
faut que la force de la marée ne suffise point à creuser
lans les sédiments une fois déposés, ou bien à en em-
épôt; le second cas suppose que les sédiments peuvent
jusqu'à la mer.

golfes d'embouchures sont tellement longs, que la sur-
x n'est jamais trouble à leur jonction avec la mer,
nte la masse des eaux troubles paraît être ballottée,
ction de la marée, sur des points plus en amont du
le golfe à l'embouchure de la *Severn*, qui porte le
de Bristol, dans lequel la marée remonte la rivière
nde distance. Pour que les eaux troubles puissent
circonstances s'échapper à la mer, il faut nécessai-
se meuvent dans cette direction. Or le seul mouve-
dans un golfe très-long, ne peut produire un tel
'au point le plus bas de la marée les eaux troubles
ues au delà du golfe; car alors il est probable
troubles serait entraînée par le mouvement géné-
long des côtes et ne rentrerait point dans les
oit dans les golfes peu étendus, dans lesquels
rivent constamment à la mer à la marée basse.
ue, lorsque la marée baisse dans un golfe d'em-
ine avec elle les eaux de la rivière et de tous
marée haute avait repoussées vers leurs sources.
pécifique relative des eaux, celles de la rivière
ont ou couler à la surface, ou s'enfoncer sous
e haute avait poussée dans le golfe; cette eau
du moins la partie de cette eau qui est bal-

lottée par la marée, devient saumâtre et presque douce à mesure qu'elle remonte dans la rivière ou les ruisseaux. Il y a donc là des actions diverses qui se compliquent, et le résultat final en est que les détritus, dans les golfes très-allongés, peuvent être transportés à la mer, soit par le frottement contre le fond du canal des eaux qui retournent à la mer pour rétablir le niveau général, soit parce qu'ils seraient tenus en suspension dans l'eau qui, devenue plus dense, coulerait au-dessous de la nappe d'eau claire de la surface; dans les deux cas les détritus seraient transportés à la mer sans que ce transport puisse s'apercevoir à la surface de l'eau. L'observateur pourra reconnaître jusqu'à un certain point quels sont ceux de ces effets qui se produisent dans un golfe d'embouchure donné, en puisant de l'eau à diverses profondeurs sur différents points de ce golfe et à différents moments de la marée, et en comparant les pesanteurs spécifiques de ces eaux et la quantité de détritus qu'elles contiennent.

n. Il serait trop long d'énumérer les diverses modifications que peuvent subir les dépôts d'embouchure; nous parlerons seulement des cas dans lesquels la force de transport des marées ne suffit point à empêcher la formation d'un dépôt de matières détritiques à la jonction du golfe avec l'Océan, là où la marée descendante est arrêtée par la masse des eaux de la mer, qui, au lieu de suivre le même mouvement que celles du golfe, courent souvent dans une direction qui lui est perpendiculaire. Lorsqu'un tel dépôt a lieu, l'accumulation qui en résulte à l'embouchure du golfe, et qui porte le nom de *barre*, est en général augmentée, et quelquefois fortement modifiée par l'action des brisants, qui de leur côté tendent à accumuler des matières détritiques sur toute l'étendue de la côte. Supposons que la figure 50 représente une côte *ab*, de laquelle part un golfe *c*,

Fig. 50.

qui pénètre dans les terres à angle presque droit, et se termine à une rivière *f* qui transporte une quantité considérable de détritus, surtout pendant les grandes crues d'eau. Supposons que le reflux n'a commencé dans le golfe, ainsi que cela arrive ordinairement, ue lorsqu'il a déjà acquis une force considérable sur la côte *a b*, ur laquelle il a la direction indiquée par la flèche *d*; alors les eaux golfe rencontreraient, en descendant, le courant général de la e à angle presque droit; elles seraient donc arrêtées, jusqu'à un tain point, suivant la ligne de la côte, et il se formerait peu à un dépôt *e* suivant cette ligne, dépôt qui serait modifié et peut- augmenté par les détritus poussés par les vagues sur toute la des côtes *a b*, ainsi qu'on le dira en son lieu. Il y a bien peu ières qui n'aient de telles *barres* à leurs embouchures, et l'ob- eur devra porter son attention sur les modifications qui peu- sulter des circonstances locales. Dans quelques rivières la st tellement considérable que la navigation intérieure en de grands obstacles, et il est des cas extrêmes dans lesquels vigation est empêchée dans des rivières qui posséderaient rre à leur embouchure de grands avantages commerciaux. igure 50 nous avons supposé que le golfe était fort court grande partie des eaux troubles s'échappait dans la mer arée. L'observateur devra noter quelle est la nature des l'obstacle formé par la barre produit dans le golfe; il aussi la nature du fond de la mer immédiatement en fe; et il trouvera en général que ce fond est très-argi- x dans la direction que suit le courant du reflux le te, parce qu'il est évident que c'est là que les eaux nt du golfe, déposeront la plus grande partie des

n ne peut observer directement la manière de laquelle éposent maintenant au fond de la mer, on peut au une idée approximative en examinant quelles sont qui doivent nécessairement influer sur le dépôt des iénomènes dus aux causes géologiques ont porté es d'argile, de sables et autres que l'on conjec- osées sous la mer, parce qu'elles contiennent en es d'animaux marins, dont quelques-uns vivent rs actuelles, ce qui met hors de doute l'origine n donc toute facilité de reconnaître là les effets Il est vrai cependant qu'on ne trouve point données nécessaires pour juger de l'étendue tains dépôts marins, de la manière dont ils

s'accumulent, ou des causes qui peuvent les modifier; et surtout les dépôts anciens n'indiquent guère jusqu'à quel point les forces qui agissent de nos jours à la surface du globe peuvent suffire à expliquer la formation de ces masses de terrains détritiques de différents âges géologiques qui entrent dans la composition de l'écorce terrestre.

p. Les sondages que l'on fait le long des côtes donnent la preuve évidente que le fond de la mer est composé de vases, de sables plus ou moins fins, de graviers, de coquilles marines brisées ou entières, de fragments de coraux et autres substances analogues. Or, comme nous savons, d'après les phénomènes géologiques, que la position relative des terres et des mers n'a pas toujours été la même, mais qu'au contraire une grande partie des continents actuels a été autrefois recouverte par la mer, tandis qu'en même temps une partie des terres aujourd'hui découvertes était submergée, et que ces changements de position relative ont eu lieu à plusieurs reprises sur les mêmes points de la surface terrestre, nous ne pouvons nullement être certains que la vase, le sable et les graviers que l'on trouve actuellement sous les eaux de la mer, y aient été déposés sur l'étendue particulière que l'on voudra examiner depuis que les continents et les mers se trouvent dans leur position relative actuelle. Il est certainement possible que les vases, les sables, etc., qui se trouvent au fond de la mer qui baigne certains continents, aient été apportés à leur position actuelle par les mêmes forces de transport qui agissent aujourd'hui dans les mêmes localités; mais pour être bien assuré qu'il n'y a là aucune source possible d'erreur, il faut d'abord bien examiner tous les mouvements qui ont lieu actuellement dans ces mers, bien reconnaître les preuves que l'on a de ces mouvements, et puis voir jusqu'à quel point ces mouvements peuvent expliquer la position des vases, des sables, du gravier, etc., dans les localités où on les trouve aujourd'hui. Sans doute que de telles observations exigent un grand soin; mais elles sont d'une telle importance géologique, que les personnes qui sont placées dans des circonstances favorables, les officiers de marine, par exemple, ne devraient jamais négliger l'opportunité de les renouveler. C'est faute de données suffisantes sur ce point que l'on voit hasarder dans les traités et les mémoires géologiques tant de généralisations si vagues, que lorsque l'on vient à les examiner de près, on ne peut guère croire qu'elles soient fondées sur autre chose que sur le bon plaisir de leurs auteurs.

q. Les détritus résultant des dégradations des continents, et ap-

portés à la mer par les différentes actions que nous venons de passer en revue, y sont nécessairement distribués, d'après les mou-vements produits par les marées et les courants, sur de plus grandes urfaces que celles qu'ils occuperaient si les eaux de la mer étaient ans un repos parfait. La marée n'est qu'une grande ondulation, i ne produit de mouvement horizontal appréciable que sur les es et les bas-fonds, où elle donne lieu à des mouvements horizon-x dans des sens directement opposés, qui s'étendent jusqu'à seize ingt milles ; cette distance est encore augmentée ou quelquefois nuée par des circonstances locales. Les courants agissent sur lus grandes échelles, et traversent l'Océan dans différentes ions, quoiqu'on puisse dire que la masse d'eau qui se meut t à l'Ouest dans les régions équatoriales, est de beaucoup rande que les divers courants des autres parties du globe. pas reconnu encore la profondeur jusqu'à laquelle agissent ants lorsque leur vitesse à la surface est connue, quoique, ribue l'origine des courants à des causes agissant à la sur-la mer, telles que les vents dominants, l'entrée des eaux n dans une mer méditerranée pour y rétablir l'équilibre r suite de l'évaporation et autres causes analogues, il est e leur action ne doit pas s'étendre à de grandes profon-là un des objets sur lesquels un observateur doit porter ttention ; la seule expérience directe que nous ayons à t due au capitaine Becher, qui, à la latitude de 15° 27′ 9″ gitude de 17° 31′ 50″ à l'ouest du méridien de Green-é qu'un courant dont la vitesse à la surface de la mer mètres par heure, conservait la même vitesse à 73 fondeur.

observateur désire connaître la direction et l'étendue détritus, provenant d'une côte quelconque, sont s mouvements qui ont lieu dans la mer, il devra r la qualité et la quantité de ces détritus que les à la mer sur toute la longueur de cette côte, puis n et l'étendue sur laquelle les mouvements de la transporter, en tenant compte de la possibilité ui pourraient faire glisser sur le fond de la mer moins grossiers. En d'autres termes, il devra ourants dus à la marée peuvent ou non faire sur le fond de la mer en même temps qu'ils volumineux à l'état de suspension mécanique, us de transport ont lieu à la fois, le dépôt nécessairement plus compliqué que s'il n'en

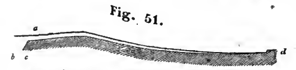
existait qu'un seul. Si un courant dû à la marée était assez fort, il pourrait pousser des détritus sur son fond, lors même qu'il ne tiendrait point en suspension une quantité sensible de détritus plus ténus; tandis que d'un autre côté des eaux n'ayant qu'un mouvement très-faible, peuvent être plus ou moins chargées de détritus en suspension qu'elles déposeront plus loin, sans avoir la force de déplacer la vase et les sables plus ou moins grossiers du fond de la mer. Nous ne connaissons pas plus ici, que dans les rivières, les lois d'après lesquelles les eaux de la mer sont ralenties par le frottement qu'elles éprouvent sur le fond sur lequel elles passent; nous ne pouvons donc calculer ce frottement, même en connaissant la profondeur de l'eau et sa vitesse à la surface. Il serait en conséquence très-important de pouvoir reconnaître la valeur de ce frottement par des expériences directes; il ne faudrait point oublier que l'eau salée étant plus dense que l'eau douce, il devrait y avoir, toutes choses égales d'ailleurs, une différence entre le ralentissement dû au frottement, et par conséquent entre le frottement même des eaux de la mer ou des rivières.

s. Les faits qui s'observent dans les fonds des mers où l'on est sur la sonde, c'est-à-dire qui ont cent ou cent cinquante brasses de profondeur, paraîtraient indiquer que les courants produits le long des côtes par les marées peuvent, jusqu'à un certain point, déplacer des détritus sur le fond de la mer; leur action se combine probablement avec celle des vagues, qui secouent pour ainsi dire et soulèvent les sédiments plus fins dans les endroits moins profonds, et donnent par là aux courants des marées plus de détritus qu'ils n'en transporteraient sans l'action des vagues. Dans plusieurs cas, des courants dus à d'autres causes peuvent s'ajouter à ceux provenant des marées. On trouve en général que les surfaces étendues et presque planes sur lesquelles on est sur la sonde, se terminent par un talus rapide [1], c'est-à-dire que le fond de la mer,

[1] M. Élie de Beaumont a remarqué dans ses leçons au Collége de France, en 1837, que, d'après la carte des attérages des côtes d'Angleterre par le capitaine Vidal, publiée par l'amirauté, la plus courte distance entre les lignes de 100 et de 200 brasses étant de 3704 mètres, on arrive à trouver que dans le cas le plus favorable l'angle du talus à l'extrémité des sondes de 100 brasses est de 2° 50'; mais c'est là un cas exceptionnel, et la distance ordinaire entre les sondes de 100 brasses et celles de 200 donne un angle moyen de 0° 34', comme celui de l'inclinaison de ce *talus rapide*. Il serait donc fort difficile de partir de l'inclinaison de ce talus pour expliquer celle que présentent aujourd'hui certains grès et schistes de différentes époques géologiques, et surtout ceux du groupe de la grauwacke. (*Note du traducteur.*)

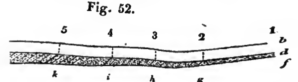
s'être abaissé presque insensiblement depuis la côte jusqu'à
ofondeur de cent ou cent cinquante brasses, plonge subi-
it sous un angle beaucoup plus considérable. Supposons que
la figure 51 (dans laquelle les hauteurs sont infiniment exa-
par rapport aux distances horizontales) la ligne *aa* repré-

Fig. 51.



urface de la mer, et la ligne inclinée qui est au-dessous,
fond de cette mer depuis la côte *d* jusqu'à la mer plus
; on trouvera généralement que le fond de la mer, après
nué à s'abaisser insensiblement jusqu'en *c*, où nous sup-
l aura cent brasses de profondeur, prendra tout à coup
ison plus rapide, de manière à ce que la sonde ne trou-
t plus de fond. C'est là ce qui s'observe à la limite de
yant cent brasses de profondeur, depuis la France jus-
ége, limite qui comprend les îles Britanniques [1]; on y
igne de deux cents brasses de profondeur n'est qu'à
stance en dehors de celle de cent brasses; et cette
ppelle en grande partie la forme que prennent les
quelques-uns des deltas connus dont on ferait une
leur longueur. Il paraîtra peut-être exagéré que de
s mouvements de la marée qui ont si peu d'étendue
s côtes, puissent exercer tant d'influence sur la
s de sédiments à une si grande distance des terres;
lté est plus apparente que réelle. Supposons que
52) représente la surface d'une partie de la mer

Fig. 52.



ents de la marée, de sorte que le point 1 aille
rs 3, 3 vers 4, et ainsi de suite pendant le

marques à ce sujet qui se trouvent dans les *Recherches*
'e la géologie, page 135.

reflux, et que les mêmes points retournent à leurs places respectives durant le flux; de sorte qu'il y ait un mouvement de *va-et-vient* de toute la surface, dont l'oscillation soit égale à la distance de 1 à 2, de 2 à 3, etc.; négligeons pour le moment toutes les causes de modification que nous examinerons plus bas, et supposons que la ligne *cd* représente la profondeur à laquelle le mouvement de la marée a encore assez de force pour transporter en avant et en arrière certains détritus donnés, tels que des sables divers, de la vase et autres qui forment le fond de la mer, et que la ligne *ef* représente un fond de roche solide, qui plonge depuis la côte jusque dans les profondeurs de l'Océan. Si l'on imagine maintenant que des détritus soient déposés et jusqu'à un certain point nivelés de *f* en *g*, tout ce qui viendrait se surajouter serait rejeté au delà du point *g* par le mouvement de *va-et-vient* de la partie de la mer comprise entre les points 1 et 2. Les détritus tombés sur le talus rapide *g* ne pourraient point revenir en arrière au point *f*; car non-seulement ils se trouvent plus bas que la ligne jusqu'à laquelle s'étend le mouvement de l'eau, mais en outre il faudrait pour leur faire remonter la pente rapide *g* une force qui ne peut exister dans les circonstances que nous avons décrites. Si donc il arrive constamment du côté de la terre *df* de nouveaux détritus qui soient nivelés par le mouvement de l'eau à la hauteur *cd*, cette surface *cd* s'étendra peu à peu par l'accumulation de *strates* inclinées qui s'ajouteront au talus extérieur, qui s'avancera ainsi dans la direction *h, i, k, l*, et dont le progrès sera d'autant plus lent que l'eau deviendra plus profonde.

L'explication que nous venons de donner ne doit être considérée que comme une idée suggérée à l'observateur qui devra remarquer que les mouvements des marées sont d'autant plus rapides que l'on est plus près de la terre, d'après la résistance que le flot rencontre dans cette position, et que par suite les distances 1, 2, 3, 4, 5, 6 ne doivent point être égales, mais décroître en s'éloignant des côtes, c'est-à-dire de 1 à 6; il devra observer en outre que le plan du fond de nos mers, dans les profondeurs comprises dans les sondes de cent brasses, n'est point parfaitement horizontal, mais très-légèrement incliné; et que le dépôt tout entier peut être grandement modifié par des accumulations de fragments de coquilles, de coraux, d'ossements de poissons, etc., au-dessus des matières détritiques plus atténuées, que ces fragments préserveraient du mouvement de l'eau qui autrement pourrait les déplacer. L'observateur sera frappé par un grand nombre d'autres causes de modification, pour peu qu'il s'occupe sérieusement de cet objet, sur lequel nous avons

Digitized by Google

ialement insisté, pour examiner jusqu'à quel point il pouvait ésulter une série de *strates* assez fortement inclinées de sables ou moins grossiers, telles que celles de la figure 53, et par

Fig. 53.

ent jusqu'à quel point une telle accumulation, qui se con- de nos jours, pourrait rendre compte de la disposition de couches inclinées de grès et de schistes, que l'on ne peut avoir été déposées au fond de la mer les unes au-dessus ;, dans une position horizontale, sans supposer des pro- l'eau beaucoup plus grandes qu'il n'en existe probable- les mers actuelles, ou que l'on puisse concevoir y avoir ́té.[1]

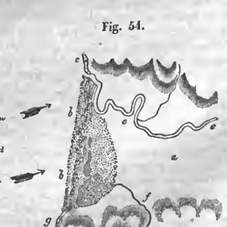
nts marins dont les eaux transportent des détritus don- nécessairement à des dépôts plus étendus que ceux pro- mouvements de la marée, puisqu'ils s'étendent sur de s grandes surfaces, pourvu toutefois qu'il leur arrivât ıde quantité de matières détritiques. On pourrait ha- :s conjectures sur la distance à laquelle la vase ou des pourraient être transportés par les courants, si l'on iences sur le temps que mettraient des détritus très- férentes natures, à descendre *dans l'eau de mer*, d'un ıte autre mesure de hauteur, et si l'on connaissait 'a profondeur à laquelle s'étend l'action d'un courant nue; malheureusement nous ne savons rien encore si essentielles. Puisque nous en sommes sur ce pas sans intérêt de chercher jusqu'à quel point densité que l'eau éprouve dans les grandes pro- de la pression superincombante, pourrait ra- détritus les plus atténués, en supposant que les charrier et en déposer dans de telles situations. squ'à quel point les courants contiennent des sur différents points de leurs cours, et aux , il faut être muni de tous les instruments né- de l'eau dans ces diverses situations; mais il ·er dans des circonstances favorables, qui ne

ges 54 et 72.

sont guère réservées qu'aux officiers de marine. Il faudrait mettre en bouteilles cette eau avec les plus grandes précautions, et s'en procurer en assez grande abondance pour qu'on pût y reconnaître les plus petites quantités de matières détritiques; car c'est là probablement tout ce qu'on y en pourrait trouver.

VII. *Accumulations de détritus produites sur les côtes par les brisants.* — *a.* Sur les côtes qui sont presque de niveau avec la surface de la mer, lorsque celle-ci n'est point sujette à des marées sensibles, ou sur les points qui, le long de l'Océan, s'élèvent à peine au-dessus de la haute mer, il existe en général des plages allongées de galets ou des dunes de sables qui se sont accumulées en avant des terres par suite de la tendance des brisants à rejeter sur la côte des détritus plus ou moins volumineux. Ces plages ou dunes ont pour effet non-seulement de garantir les terrains plus bas contre l'action destructive de la mer, mais encore de modifier souvent ces pays eux-mêmes, soit en s'opposant à l'écoulement des eaux qui forment alors fréquemment des marais, soit, lorsqu'elles sont composées de sables, en donnant lieu à l'envahissement de ces sables que les vents poussent sur les terres voisines; des masses entières de ces dunes s'avancent quelquefois lentement, mais d'une quantité déterminée, ainsi que cela se voit dans les dunes qui s'étendent depuis l'embouchure de la Garonne jusqu'à Bayonne. Supposons que la figure 54 représente une plaine basse *a*, terminée du côté de la

Fig. 54.



mer par une plage de galets ou de sable *bb*, qui la garantit des envahissements de la mer, *d*, et qu'une rivière *ee* tombe dans la mer

e la falaise c et la plage b, tandis que le ruisseau f n'aura point
rce de percer la plage bb et se perdra dans des marais et des
s en arrière de cette plage, une partie des eaux s'infiltrant à
s les sables ou galets, et l'autre se répandant sur la plaine,
convertit en vastes marécages.

servateur qui voudra étudier une telle localité, devra chercher
à connaître comment s'est produite la plage elle-même.
ces accumulations de détritus s'avancent dans la direction
s dominants, il devra reconnaître la nature des fragments,
ge qu'il examine est composée de galets. S'il trouve que les
sont évidemment des fragments arrondis provenant de la
ou d'autres roches situées dans la même direction, il en
qu'ils ont été transportés dans leur position actuelle par
gèrement oblique des vagues poussées par des vents ayant
irection. Dans la figure 54, ces vents pourront souffler
dans la direction indiquée par les flèches *w*, *w*. Si c'était
à le cas, l'accumulation continuera de marcher vers la
elle n'atteindra pourtant pas, parce que nous supposons
nt de la rivière *ee* soit assez fort pour entraîner les
tomberaient dans son lit. Il est évident dans cet état
e la plaine *a* peut avoir subi de grands changements
mulation de la plage *bb*, et qu'elle est exposée encore
tres. Comme les plaines basses ainsi situées varient
constances locales, c'est sur ces circonstances que
evra porter son attention, et examiner avec soin
es qui peuvent avoir exercé le plus d'influence sur
a contrée qu'il a sous les yeux.

s de ce genre ont une importance particulière en
u'elles peuvent conduire jusqu'à un certain point
lternances de dépôts marins, d'embouchure et
ont si fréquentes, surtout parmi les terrains su-
iaires. L'observateur devra s'efforcer d'avoir des
s plaines basses; il pourra en trouver dans les
ratique souvent pour l'écoulement des eaux;
s'il le peut, des débris organiques (ainsi qu'il
de cet ouvrage) des diverses couches de gra-
able, qui seront ainsi mises au jour.

e détritus qui peuvent se former dans de telles
rme dépendra surtout de la force qu'aura la
r une libre communication avec la mer; si
enant de la mer, parvenait à former un banc
ure, la rivière inonderait la plaine basse en

arrière de la plage, et si elle était chargée de détritus, une partie pourrait s'en déposer sur cette plaine. Le ruisseau secondaire *f* apportera constamment des matières détritiques, qu'il déposera là où il perd toute faculté de les pousser sur son fond et de les tenir en suspension, en perdant sa vitesse; il pourra donner lieu à des mélanges considérables des substances végétales qui croîtront dans les marais et les étangs avec des sables plus ou moins grossiers et de la vase.

b. Lorsque les vents poussent les sables des dunes vers l'intérieur des terres, ainsi qu'il arrive souvent, l'observateur devra chercher de reconnaître l'étendue de la surface envahie, étendue qui est quelquefois fort considérable, la vitesse de la marche des sables et l'épaisseur, ainsi que les caractères généraux, du dépôt qui en résulte; il notera les alternances de substances végétales, qui indiquent les diverses surfaces qui ont été assez longtemps à découvert pour qu'il pût s'y établir une végétation durable, et qui ont été successivement recouvertes par les accumulations des sables.

c. La marche des sables n'a pas lieu seulement sur ces plaines basses qui sont séparées de la mer par des dunes que les vents font avancer; il s'accumule quelquefois aussi des sables au fond de certaines baies profondes, qui sont exposées à l'action de grandes vagues qui se brisent sur des bancs de sable avant d'atteindre la côte. Les côtes du Cornouailles et du Devonshire offrent plusieurs exemples de cette nature. Les sables, dans ces cas, ne sont guère que des fragments très-atténués de coquilles marines. Les dépôts qui en résultent ont un très-grand intérêt géologique, surtout en ce que des coquilles terrestres et des ossements de quadrupèdes sont souvent recouverts par de nouveaux sables. Les coupes qui en résultent sont fort importantes aussi; elles sont quelquefois

Fig. 55.

La mer.

a b

analogues à la figure 55, dans laquelle *a* représente le sable transporté par les vagues et *b* le terrain de la colline au pied de laquelle ces sables s'accumulent.

VIII. *Dépôts chimiques dans les lacs et dans la mer.* Les eaux des sources ne sont point pures; elles contiennent au contraire plu-

rs substances en solution; et comme ces sources fournissent, les circonstances ordinaires, la plus grande quantité de l'eau rivières, il s'ensuit que les grandes rivières dans lesquelles se nt un grand nombre de cours d'eau secondaires, ainsi que les peuvent tenir en solution une quantité de substances qui, en sant les unes sur les autres, peuvent donner lieu à des com- insolubles.

orsqu'on aura lieu de soupçonner qu'il se précipite des sub- calcaires ou autres d'une masse d'eau qui tenait d'abord stances en solution, par suite d'un mélange d'acide carbo- autre, il faudra se procurer de l'eau de ces rivières ou voir si cette eau contient réellement les substances que l'on unait. Si l'observateur n'était point en état d'analyser lui- tte eau, il en remplira une bouteille bien propre, la ca- nmédiatement le plus parfaitement possible, et la sou- plus tôt à l'examen de quelque chimiste habile.

ait fort à désirer que l'on analysât ainsi les eaux qui s les différents lacs, de manière à connaître la quantité é des diverses substances qui sont dissoutes dans ces alysant ensuite de même à la sortie du lac l'eau de la ui sert d'écoulement, on pourrait juger s'il se forme un dépôt chimique quelconque, et quelle est la nature e de ce dépôt. Si le lac est peu profond et fort étendu, seule, dans les climats chauds surtout, suffirait à pro- s sensibles. S'il résultait des analyses ci-dessus qu'il ns un lac de la matière calcaire, il faudrait tenir ploi de cette matière par les mollusques qui vivent insi que des dépôts coquilliers qui pourraient en

t parvenir petit à petit à recueillir des documents sujet, si les observateurs qui ne sont point ca- eux-mêmes des analyses d'une eau quelconque, s recueillir avec tout le soin nécessaire et faire personnes plus habiles l'eau des diverses rivières la mer. Si l'on avait de telles analyses de toutes ous les cours d'eau secondaires dont l'ensemble ssi important, qui versent leurs eaux dans la ne donnée de côtes, on pourrait connaître par antité générale, la nature et les diverses pro- es que l'action chimique des cours d'eau d'un e donné enlève annuellement aux terrains de n. Il serait très-important de connaître, par

approximation, la quantité et la nature des substances ainsi dissoutes qui sont versées dans les mers qui entourent les îles Britanniques.

d. Il peut se faire que les diverses roches que l'on croit avoir été formées par voie chimique dans la mer, aient réellement été ainsi produites; mais il reste à savoir si cette *mer* était parfaitement analogue à notre mer actuelle. On paraît admettre, à présent, que les principes salins contenus dans la mer ont toujours été les mêmes que ceux que l'on trouve dans les eaux de l'Océan actuel. Cela peut être vrai aussi, quoiqu'il y ait des raisons qui peuvent conduire à une opinion contraire; mais en négligeant pour le moment ces raisons, il est curieux de penser que l'on n'a point fait jusqu'ici d'expériences directes pour savoir quelles sont les circonstances dans lesquelles il peut se produire dans l'*eau de la mer* des dépôts calcaires ou autres analogues à ceux des différents terrains. La marche à suivre dans de telles recherches se présente d'elle-même aux personnes qui ont des notions suffisantes en chimie, et il serait très-important de savoir jusqu'à quel point les principes salins contenus dans l'Océan actuel pourraient rendre compte de la production de ces grandes masses de matière calcaire que l'on regarde comme d'origine marine, parce qu'on y rencontre des coquilles analogues en genre et souvent aussi en espèce à celles qui vivent de nos jours dans la mer. La présence de ces fossiles ne prouve nullement que les mers qu'habitaient leurs animaux fussent précisément les mêmes, sous le rapport des sels qu'elles contenaient, que notre Océan actuel; puisqu'il est prouvé que ces animaux peuvent s'habituer à vivre dans un milieu fort variable sous ce rapport. En outre, les eaux de la Méditerranée sont plus chargées de sels que celles de l'Atlantique, et cependant il est diverses espèces de mollusques qui habitent également ces deux mers. Il paraîtrait que certains mollusques peuvent vivre dans des eaux excessivement salées, et dont les proportions entre les différents sels pourraient même varier, ainsi que cela arrive dans la mer Caspienne.

e. Les eaux de plusieurs sources thermales laissent déposer de la silice; il serait important de faire des recherches autour de ces sources, surtout de celles dont la température est le plus élevée, afin de voir quelle influence peuvent avoir ces eaux silicifères sur les roches avec lesquelles elles se trouvent en contact; le mode d'après lequel des sables peuvent être agglutinés par ces eaux, ainsi que le temps nécessaire pour enduire des végétaux d'un vernis de silice capable d'en arrêter la décomposition. Ce dernier point serait particulièrement intéressant à constater; car il existe des vé-

taux fossiles silicifiés dont l'état de conservation porterait à croire e des végétaux peuvent être enduits et imprégnés de silice avec rapidité capable d'empêcher la décomposition, qui, surtout sous tropiques, devrait avoir lieu dans un petit nombre de jours.

Il importe d'observer avec attention les angles sous lesquels revêtements ou des couches successives de substances analogues les de certaines roches se sont déposés de solutions tant natu- qu'artificielles; car on peut en tirer des renseignements pour naître, lorsqu'on vient à examiner les dislocations et les frac- d'une contrée quelconque, quelle est la part de l'inclinaison uches qui peut résulter de leur dépôt originaire, et quelle le qui doit être rapportée à des mouvements postérieurs.

Comment les débris organiques peuvent être enfouis dans les qui se forment de nos jours. S'il est important de connaître ibution à la surface du globe de l'organisation animale et , lorsque l'on veut s'occuper de l'étude des fossiles en gé- ne l'est pas moins de savoir comment les dépouilles des et végétaux actuels peuvent être enfouies dans les dépôts ment de nos jours.

est personne qui, voyant des tranchées faites dans le sol onstruction de routes, de fossés, ou dans un autre but n'ait pu remarquer que l'on trouve souvent immédiate- ssous de la végétation, des coquilles d'escargots et d'autres terrestres, tandis qu'il est infiniment rare de trouver ne position des ossements de reptiles, d'oiseaux ou de . Les animaux carnivores dévorent en général les sque- r proie en même temps que leur chair, ou bien ils ossements d'animaux morts dont les chairs ont servi e à leurs devanciers, de sorte qu'il est rare que les ssent échapper aux recherches constantes des carni- par conséquent à la surface du sol bien peu d'osse- ssent être recouverts par le terreau qui résulte de la de substances animales et végétales, ou par des terres s ossements par diverses causes. Toutes les chances , dans les circonstances naturelles ordinaires, à ce des ossements d'animaux immédiatement au-dessous terrestre. Le cas est tout différent pour la partie sques terrestres, tels que les escargots et autres; ces mollusques creusent la terre pour s'y cacher, et nombre périt dans cette situation, et que leurs rées par divers très-petits animaux qui n'attaquent es, ces dernières peuvent être remplies plus tard

par de la terre amenée dans leurs cavités par l'eau des pluies, de manière à se conserver entières ou presque entières dans le sol végétal superficiel.

b. Il est cependant des circonstances dans lesquelles les ossements d'animaux terrestres peuvent se trouver ensevelis au-dessous du sol végétal, et ces circonstances sont presque habituelles sur quelques points de la surface de la terre. Pour reconnaître la manière dont se fait cet enfouissement, l'observateur devra porter son attention sur les accumulations de fragments éboulés de roches ou d'autres substances qui ont lieu au fond de fissures et de crevasses ouvertes du sol, à la base de grands escarpements, ou dans des cavernes habitées par différents animaux, tels que des ours, des hyènes, etc. Il arrive souvent que des animaux tombent dans les crevasses si communes dans plusieurs régions calcaires, soit en fuyant devant d'autres animaux, soit en essayant de sauter par-dessus ces fissures, soit encore parce que la terre des bords s'éboule sous leur poids. Dans les contrées alpines et les pays très-froids, il se forme des ponts de neige d'un côté à l'autre des fentes du sol, et ces ponts cèdent souvent sous les animaux qui essayent de les traverser, et les précipitent au fond de l'abîme qu'ils recouvraient. Il tombe dans ces fissures, par diverses causes naturelles, des fragments de roches, de la terre, et quelquefois des végétaux, qui ensevelissent les débris des animaux, c'est-à-dire leur squelette, aussi entier qu'il l'était après leur chute, les chairs en ayant été décomposées, ou bien dévorées par des oiseaux de proie qui ont pu descendre au fond de ces précipices, mais qui n'étaient point en état de détruire ni d'enlever les parties osseuses du squelette. Si la crevasse se trouve être dans un terrain calcaire, et qu'il s'y fasse des incrustations stalagmitiques de carbonate de chaux, ainsi que la chose a souvent lieu, une partie de la fente pourra se trouver remplie d'une masse compacte de fragments de roches et d'ossements cimentés par un suc calcaire. Lorsque l'observateur rencontre une fissure ainsi remplie, il doit s'attacher à déterrer les ossements avec le plus de soin possible, afin de pouvoir, s'il n'est point versé lui-même dans l'ostéologie comparée, les envoyer, dans le meilleur état de conservation possible, à un anatomiste capable, qui puisse décider si ces ossements appartiennent à des espèces actuellement vivantes, ou bien à des espèces qui ont disparu de la surface terrestre; et si, par conséquent, le remplissage de la fissure en question doit être rapporté à la période géologique actuelle, ou à une période antérieure.

L'observateur qui se trouve examiner une fissure remplie de ces débris, ne doit point se limiter à recueillir les ossements qui se trou-

nt à la partie supérieure du dépôt, ou à sa partie inférieure; car
ie peut que la crevasse ait continué à rester ouverte pendant qu'il
serait opéré un changement dans les animaux qui habitaient le
s, et que, par conséquent, les mêmes causes continuant à agir,
: trouve des débris d'anciens animaux à la partie inférieure de
ute remplie, et des restes d'animaux actuels à la partie supé-
e. Lorsqu'un observateur en aura l'opportunité, il devra exami-
comment les ossements se trouvent disposés dans les cavernes
ervent de retraite aux animaux carnassiers, qui y ont entraîné
roie pour l'y dévorer; l'état plus ou moins fracturé de ces
nts, et l'accumulation de terre, d'excréments, de fragments
es, etc., qui peuvent les recouvrir.

s restes de végétaux paraissent surtout devoir s'accumuler le
ondamment dans les grands marécages semés de petits lacs
fonds. Les feuilles des arbres qui croissent dans ces localités,
à la surface de l'eau, y prennent une position horizontale,
nt pour ainsi dire une petite couche; ces feuilles s'imbibent
à peu et s'enfoncent facilement, pressées qu'elles sont par
tion d'autres couches de feuilles, ou bien par l'augmentation
santeur spécifique, et s'étendent sur la vase au fond de
servateur devra suivre dans ses détails le mode d'après
restes de végétaux se trouvent ainsi ensevelis, dans les
icales surtout, où ces accumulations ont lieu quelquefois
randes échelles; il devra noter aussi la manière dont les
iaux aquatiques, qui sont fréquents dans ces localités,
ix restes de végétaux, ce qui peut avoir lieu également
ments de quadrupèdes terrestres. Il ne doit point né-
us d'observer la manière dont les débris d'animaux et
euvent être conservés dans les tourbières, qui ont sou-
randes étendues, et offrent des phénomènes du plus

l'une grande quantité de cendres et de sables, pro-
que grande éruption volcanique, paraîtrait pouvoir
inement des animaux et des plantes terrestres, dont
: seraient à même de se conserver ainsi dans leur
up plus parfaites que la chose ne pourrait avoir
e manière. La poussière des éruptions volcaniques
ine, que, lorsqu'elle vient à être trempée par l'hu-
lide plus tard, elle peut prendre l'empreinte des
nimaux, et conserver cette empreinte après que
lles étaient tombées la poussière et les cendres,
s. On a un ou deux exemples remarquables de

Digitized by Google

ce fait à Pompéia, où l'on a retrouvé des empreintes de quelques parties de corps humains. Ces cas doivent nécessairement être fort rares; mais la conservation, par ce moyen, des parties osseuses de reptiles, d'oiseaux et de quadrupèdes, doit être assez fréquente, surtout dans le voisinage de l'orifice volcanique par lequel se fait l'éruption; il est naturel de penser que des plantes doivent, dans ce cas, se trouver enfouies en grand nombre. Les observateurs qui se trouvent placés dans des circonstances favorables, ne devront donc point négliger de rechercher des restes organiques dans les assises de cendres et sables volcaniques. A Herculanum et à Pompéia on a de grands exemples de villes ensevelies par des substances provenant d'éruptions volcaniques, dans lesquelles on trouve non-seulement des ossements humains, mais encore une immense quantité de produits de l'industrie humaine et même des manuscrits, qui ont été préservés des diverses causes de destruction auxquelles ils auraient été exposés, s'ils n'avaient pas été ainsi enveloppés.

e. Nous venons de voir qu'il est possible que des restes d'animaux et de plantes puissent, jusqu'à un certain point, se conserver à la surface des continents, sans être entraînés par les eaux; mais c'est surtout dans les dépôts aqueux et dans ceux qui résultent des diverses actions chimiques qui ont lieu dans les lacs et les mers, qu'il nous faut chercher les exemples de conservation analogues au plus grand nombre de faits relatifs aux débris organiques qui se trouvent enfouis dans les couches minérales de l'écorce terrestre. L'observateur devra donc porter toute son attention sur les diverses manières dont peut avoir lieu l'enfouissement des débris organiques dans les dépôts actuels, afin de pouvoir reconnaître jusqu'à quel point les fossiles des périodes géologiques antérieures présentent des analogies ou des différences avec ceux qui sont ensevelis dans les dépôts qui se forment de nos jours.

Lorsque nous avons parlé des dépôts mécaniques et chimiques qui s'opèrent dans les lacs et dans la mer, et de ceux qui résultent des inondations qui recouvrent par intervalles des régions ordinairement à sec, nous avons omis de remarquer que la plus grande partie de ces dépôts contiennent des restes d'animaux et de végétaux qu'ils ont enveloppés de différentes manières. Les poissons, les mollusques et les autres animaux habitant une rivière, sont tellement appropriés aux circonstances ordinaires de cette rivière, à sa vitesse, à son volume d'eau, à la nature de son fond, etc., que ce n'est guère qu'à la suite de leur mort naturelle, qui probablement est fort rare, que leurs débris peuvent être conservés dans la vase, les sables et les graviers qui peuvent s'accumuler sur un point particulier du cours de cette rivière. Ce n'est guère que la partie solide des mollusques

qui, de tous les débris d'animaux vivant dans une rivière, peut arriver à être enveloppée par les détritus que cette rivière dépose sur une partie quelconque de son cours. Mais comme il arrive souvent que des rivières dégradent leurs bords, lorsque ceux-ci ne sont point garantis par l'industrie de l'homme, l'observateur devra examiner jusqu'à quel point une telle rivière peut enlever, des terrains ainsi dégradés, des restes d'animaux ou de végétaux, pour les enfouir ensuite dans les accumulations de vase, de sable et de gravier qu'elle laissera déposer plus tard. Il ne devra point négliger le cas où des arbres enlevés des bords des rivières (ce qui arrive souvent dans les pays dont le séjour de l'homme n'a point changé encore la face naturelle) peuvent, dans les pays de plaine principalement, altérer le cours de la rivière elle-même, et donner lieu ainsi, sur des points particuliers, à des accumulations de matières détritiques, contenant des débris organiques.

f. Les poissons des rivières étant exposés, lors des inondations, à l'action d'une plus grande masse d'eau douée d'un mouvement plus rapide, se réfugient dans les positions où le frottement de l'eau contre le fond et les bords de la rivière, diminuant sa vitesse, leur offre un abri dans lequel ils se tiennent en toute sûreté. Les mollusques fluviatiles habitent, en général, des localités dans lesquelles ils n'ont rien à craindre des crues d'eau ordinaires; mais lorsqu'une inondation extraordinaire vient balayer le fond des rivières et déposer plus loin les détritus qu'elle en a enlevés, on fera bien d'examiner ces accumulations de détritus, et voir comment peuvent s'y trouver enveloppées les coquilles des mollusques fluviatiles. Dans les grandes crues d'eau, des animaux et des végétaux terrestres sont souvent entraînés et abandonnés sur les parties des plaines que les eaux ont recouvertes momentanément. On devra, dans ce cas, vérifier, après le retrait des eaux, jusqu'à quel point ces débris d'animaux et de végétaux ont été enveloppés par les sédiments de la rivière, et jusqu'à quel point ils sont encore exposés à toutes les chances de décomposition provenant des causes atmosphériques.

g. Peut-être que la quantité de dépouilles organiques qui peuvent se trouver ensevelies dans la vase, les sables et le gravier des rivières, dans les circonstances ordinaires et même dans les cas extraordinaires, n'est pas considérable, quoiqu'il puisse arriver que cette quantité soit plus grande qu'on ne croirait d'abord, si l'on considère les changements de lit des rivières, si fréquents dans quelques contrées. Mais il en est autrement des accumulations de débris organiques dans les détritus qui se déposent à l'embouchure des rivières, soit dans les lacs, soit dans la mer.

Digitized by Google

Le plus grand nombre des dépôts de sédiment que nous avons dit plus haut se former dans de telles situations, ne contiennent pas seulement les restes d'êtres organisés fluviatiles et terrestres entraînés par les rivières et déposés d'après leurs diverses pesanteurs spécifiques et d'autres circonstances; ils renferment en outre les dépouilles des divers animaux qui vivent à la surface même du dépôt sédimentaire, et qui, suivant les divers cas, peuvent être lacustres, d'embouchure, ou marins. Dans les circonstances ordinaires, plusieurs mollusques meurent de mort naturelle et laissent leurs parties solides ensevelies aux diverses profondeurs que ces animaux habitent, près de la surface du dépôt; d'autres sont tués par les mollusques carnivores, qui, après avoir percé leurs coquilles et sucé le contenu, abandonnent les parties solides de leur proie dans la vase ou le sable, où elles sont bientôt recouvertes encore par l'accumulation de nouveaux détritus.

L'observateur devra remarquer les diverses manières dont les débris des animaux peuvent ainsi se trouver enfouis dans des couches minérales, et bien peser les circonstances qui peuvent amener des mélanges ou des alternances de fossiles terrestres, fluviatiles, d'embouchure ou marins, par le simple transport des matières organiques et inorganiques dans des localités déterminées. Il devra se rappeler que les cadavres des divers animaux charriés par les rivières dans les lacs ou la mer, peuvent avoir des pesanteurs spécifiques différentes, et que par conséquent le moment de leur dépôt au fond de la mer dépendra de leur état de décomposition et de diverses autres circonstances faciles à prévoir; que des squelettes décharnés et des coquilles seront plutôt déposés, toutes choses égales d'ailleurs, que des cadavres d'animaux ayant conservé leurs chairs, à moins toutefois que les coquilles n'eussent été enlevées de terre de manière à flotter au-dessus de l'eau; que des plantes ou des fragments d'arbres flotteront ou s'enfonceront à certaines profondeurs, suivant leur pesanteur spécifique du moment, et que, suivant diverses circonstances, ces débris de végétaux peuvent être entraînés à des distances plus ou moins grandes. S'il s'agit de plantes grasses, de fougères, de feuilles d'arbre, l'observateur devra remarquer pendant combien de temps et sous quelles conditions elles pourront rester avant de subir aucune décomposition, et le mode suivant lequel elles pourront se trouver enfouies aux extrémités d'un delta, sur les bords d'un golfe d'embouchure, ou dans d'autres situations; il devra noter aussi combien il peut s'accumuler de ces plantes grasses, de fougères, de feuilles d'arbre, parmi les racines de mangliers, sous les tropiques, ou par d'autres moyens, dans les climats de températures moins élevées. L'observateur pourra déduire des faits de ce genre qu'il pourra découvrir, les divers mélanges de

substances organiques qui doivent se trouver enfouies dans les sédiments d'un delta ou d'un dépôt d'embouchure quelconque qu'il aura à étudier, tout en tenant compte de l'influence des diverses circonstances particulières qui peuvent modifier la manière générale d'être d'un tel dépôt.

On peut quelquefois reconnaître des coupes de deltas, lorsque les eaux sont très-basses, ou lorsque quelques parties en ont été soulevées par des tremblements de terre; il faut alors examiner ces coupes avec le plus grand soin, et noter la manière dont s'y trouvent les débris organiques qu'on peut y découvrir. Il faudrait essayer de reconnaître si les diverses substances organiques qui peuvent se rencontrer dans une telle coupe, ont été enveloppées tranquillement sur place, si elles ont été charriées par les eaux de la rivière dans son état habituel, ou bien encore si elles ont été transportées à la place qu'elles occupent aujourd'hui par quelque cause soudaine et violente; dans ce dernier cas toutes les substances différentes dont se compose un dépôt déterminé, sont généralement mélangées de la manière la plus irrégulière.

Il est bien difficile que les grandes crues d'eau ne produisent pas à l'embouchure des rivières dans les lacs ou dans la mer, une accumulation de substances organiques et inorganiques différente de celle qui s'y produit dans les temps ordinaires. Lors donc qu'on pourra examiner des coupes de ces dépôts d'embouchure, il faudra vérifier quels sont les différents effets produits par ces deux causes différentes; tout en se rappelant que les débris organiques se présenteront différemment dans un cas que dans l'autre, tant sous le rapport de leur position dans le dépôt général que sous celui des diverses proportions des différentes espèces animales et végétales qui y sont enfouies.

h. Les débris organiques sont probablement enveloppés par des détritus de différente nature au fond des lacs et de la mer, sous des circonstances qui diffèrent des précédentes. Les effets que nous avons décrits plus haut, ont lieu nécessairement à la rencontre du cours des rivières avec la ligne des côtes; et s'il n'y avait point d'action contraire, les différents dépôts de détritus avec les débris organiques qu'ils renferment, tendraient à augmenter continuellement la surface des continents, tandis que la surface des lacs et de la mer irait continuellement en diminuant. Ainsi que nous l'avons vu, les vagues qui se brisent sur les côtes tendent, dans certains cas, à les dégrader, tandis que dans d'autres cas elles rejettent sur la côte des détritus provenant de la mer. Les brisants ne rejettent pas seulement des sables et des graviers, mais encore des mollusques, des poissons, des coraux et d'autres substances organiques, de sorte à former sur des

points des côtes favorablement situés, et par suite d'accumulations ainsi répétées, des amas de matériaux qui pourront varier suivant les diverses circonstances locales. L'observateur devra examiner les divers cas dans lesquels des substances organiques pourront se trouver enfouies dans de tels dépôts, tout en tenant compte des circonstances locales qui pourront en modifier l'ensemble. Il est évident que la surface des lacs n'est point assez étendue, en général, pour donner lieu à des brisants qui, à circonstances égales d'ailleurs, pourraient accumuler sur la côte de la mer des amas considérables de détritus et de débris organiques. Il est vrai qu'un vent d'une force donnée produira plus facilement des vagues, toutes choses étant d'ailleurs égales, à la surface d'un lac d'eau douce qu'à celle de la mer, parce que l'eau a une moindre pesanteur spécifique dans un cas que dans l'autre; mais, d'un autre côté, les vagues d'un lac qui auraient les mêmes dimensions que celles de la mer, ne formeraient pas des brisants de même force, vu la moindre pesanteur avec laquelle elles tomberaient sur la côte. Cependant, comme les brisants des lacs rejettent quelquefois des détritus sur les côtes, dans des circonstances très-favorables, on devra examiner toutes les coupes de pareilles accumulations que l'on pourra rencontrer, afin de reconnaître jusqu'à quel point il peut s'y trouver des débris organiques.

i. A mesure que l'on s'éloigne de la côte, que la profondeur d'eau augmente, et que par conséquent il règne une plus grande tranquillité au fond d'un lac, on doit s'attendre que le dépôt qui pourra y recouvrir les restes organiques qui y seront accumulés, sera plus étendu et plus uniforme que les dépôts plus voisins de la côte; ces restes organiques appartiendront pour la plupart aux animaux qui vivent au fond du lac en général, et il s'y trouvera mélangé des débris d'animaux terrestres qui auront péri en essayant de traverser d'un côté à l'autre du lac, ou qui y auront été apportés dans les grandes crues d'eau des rivières. Il est probable aussi qu'il pourra s'y déposer, après avoir été imbibés d'eau, des fragments de bois et des feuilles de plantes. Comme on ne peut apercevoir la formation même de ces dépôts lacustres, un observateur pourra connaître, par approximation, le mode suivant lequel cette accumulation a lieu, en bien appréciant les circonstances qui influent soit sur le transport des matières détritiques dans le lac qu'il aura à examiner, soit sur l'enfouissement par ces détritus des diverses substances organiques. Il est évident que les circonstances seront différentes suivant le plus ou moins de profondeur des lacs; les animaux qui ne peuvent habiter que les bords d'un lac très-profond, peuvent recouvrir en totalité le fond d'un autre lac de moindre profondeur; et des vagues qui

Digitized by Google

n'auront point d'action sur le fond du premier, pourront répandre des détritus sur les fossiles accumulés au fond du dernier.

k. Les observations qui précèdent s'appliquent, jusqu'à un certain point, aux dépôts marins qui enveloppent des débris organiques à une certaine distance des côtes. Dans ce cas aussi, tout ce qu'un observateur pourra faire pour avoir, par approximation, une idée de ces dépôts, ce sera de tenir compte de toutes les circonstances qui peuvent avoir une influence directe ou indirecte sur leur formation; et particulièrement du plus ou moins de profondeur de la mer, et des modifications que cette différence de profondeur pourra apporter dans l'accumulation des détritus et des débris organiques. La surface des lacs, qu'ils soient salés ou d'eau douce, n'est point, en général, assez étendue pour se trouver sous des climats considérablement différents d'un point à un autre; par conséquent, la différence de climat ne peut guère avoir d'influence sur les poissons, les mollusques et les autres animaux vivant dans un lac. Il en est tout autrement pour les animaux marins; le climat y a une influence considérable sur la distribution de ces animaux, quoique ce ne soit pas là, certes, la seule des causes qui peuvent modifier cette distribution.

l. Nous renverrons aux ouvrages spéciaux, pour les détails sur la distribution de l'organisation animale et végétale à la surface du globe : il nous suffira de dire ici que des observations multipliées ont prouvé que deux localités, jouissant du même climat et se trouvant d'ailleurs dans des circonstances identiques, ne sont point habitées toujours par des espèces identiques; et qu'au contraire, si tous les animaux et les végétaux qui existent aujourd'hui à la surface du globe, venaient à être enfouis tout à coup dans un dépôt universel continu, il y aurait bien peu de ressemblance entre les fossiles qui se trouveraient enfouis dans ce dépôt sur des points éloignés de quelques centaines de milles; par conséquent, quoiqu'il se forme aujourd'hui des dépôts contemporains de vases, de sables et de graviers sur les côtes des Iles Britanniques et sur celles de la Chine, et que ces dépôts contiennent nécessairement des dépouilles organiques, rien dans ces dépouilles ne prouvera la contemporanéité de ces dépôts. Il s'ensuit encore qu'un même nombre proportionnel d'espèces fossiles de diverses localités, ayant encore leurs analogues vivants dans les mers voisines de chaque localité, ne prouve point une contemporanéité de formation entre différents dépôts, quoiqu'on ait, depuis quelques années, attaché une grande importance à des classifications de terrains fondées sur cette circonstance; car il faudrait prouver, avant tout, que les côtes des Iles Britanniques et celles de la Chine ont été soumises en même temps à des conditions exactement identiques, ce qui ne paraît nullement probable.

m. On peut faire des observations directes sur la nature du fond de la mer, là où peut parvenir la sonde employée ordinairement à cet objet; on peut aussi, en pêchant et en draguant, reconnaître quels sont les animaux et les végétaux qui se trouvent sur le fond de la mer ou à une petite profondeur au-dessous. On pourrait rendre de telles observations plus instructives pour les géologues qu'elles ne l'ont été jusqu'ici, en construisant des cartes marines qui indiqueraient non-seulement la profondeur et la nature du fond sur les diverses côtes, mais encore la force et la direction des marées et des courants capables de transporter des détritus, la nature des détritus ainsi transportés, et les animaux et les végétaux qui habitent les divers points de la surface sous-marine. Ces cartes, qui parleraient aux yeux, pour ainsi dire, donneraient des idées plus générales et plus définies que ne peuvent le faire des descriptions de plusieurs pages. L'échelle de ces cartes dépendrait nécessairement des généralisations qu'on voudrait en déduire; mais il est facile de concevoir que l'échelle du quatre-vingt-millième, qui est celle des cartes d'Angleterre levées par l'Ordonnance (État-major), pourrait contenir une grande quantité de détails généraux de la plus grande utilité.

n. En ce qui concerne la minéralisation des débris organiques dans les différents terrains, c'est-à-dire le remplacement qui a souvent lieu de la matière animale ou végétale dont les substances organiques étaient composées lorsqu'elles ont été enveloppées dans la vase ou dans le sable plus ou moins grossier, par une matière minérale quelconque, on peut imaginer facilement une suite d'expériences qui donneraient de grandes lumières sur cette métamorphose, malgré que l'on dût y faire abstraction du temps, l'un des éléments les plus importants des grandes opérations de la nature. Supposons que l'on veuille apprécier les effets de l'infiltration de l'eau chargée d'acide carbonique, à travers du limon, de la vase sableuse, ou du sable, sur les divers débris organiques que contiendraient ces substances, on pourra prendre une grande caisse, divisée comme dans la figure 56,

Fig. 56.

qui représente la coupe verticale d'une telle caisse, *acdb*. Que l'on divise cette caisse en quatre compartiments, dont trois, *o*, *p*, *q*, seront égaux entre eux et ouverts à leur partie supérieure, tandis que le quatrième, *h*, s'étendra au-dessus des trois autres et sera ouvert à son fond; puis, qu'on remplisse le compartiment *o* de limon, celui *p* de vase sableuse, et, enfin, celui *q* de sable, chacune des trois substances ayant la composition chimique que l'on jugera la plus convenable pour l'expérience qu'on se propose de faire; et que l'on place des débris organiques, tels que des coquilles, des arêtes de poisson, des ossements de sauriens, etc., dans le limon, en *k*, dans la vase sableuse en *l*, et dans le sable en *m*, en ayant soin que les débris organiques soient à peu près identiques et semblablement placés dans chaque compartiment. Si maintenant on remplit le compartiment *h* d'eau chargée d'acide carbonique, cette eau tendra à filtrer à travers les substances des compartiments *o p q*, dont le fond aura dû être construit avec une matière poreuse. En traversant le limon, la vase sableuse et le sable, les eaux chargées d'acide carbonique passeront sur les dépouilles organiques *k*, *l*, *m*, et produiront sur ces restes des effets différents, suivant leur composition chimique respective. Si le compartiment *h* est tenu constamment plein d'eau chargée d'acide carbonique, et que l'expérience soit continuée pendant un temps donné quelconque, pendant une année, par exemple, l'état que présenteront, au bout de ce temps, les débris organiques de chaque compartiment, donnera la mesure de l'effet que peut produire pendant ce temps l'infiltration d'une eau chargée d'acide carbonique. Il faudrait nécessairement connaître, avant l'expérience, la composition chimique du limon, de la vase sableuse et du sable que l'on aura employés, afin de pouvoir apprécier avec exactitude l'effet de l'infiltration de l'eau chargée d'acide carbonique, à travers chacune de ces substances.

Il est évident que de telles expériences peuvent se varier à l'infini, mais il faudrait avoir soin toujours d'imiter, autant que possible, les procédés naturels; il est évident aussi qu'on peut combiner, pour de telles expériences, un grand nombre d'appareils différents. On pourrait même chercher à remplacer par d'autres substances la partie des débris organiques qui aurait été entraînée par l'action des solutions que l'on aurait fait filtrer à travers le limon, la vase sableuse et le sable. On arriverait peut-être, avec beaucoup de soin, à enlever en entier le carbonate de chaux des coquilles, ainsi que cela a lieu souvent dans la nature, et à le remplacer dans le moule qu'il aurait laissé, par de la silice ou d'autres substances. Ces essais, ainsi que tout ce qui tend à expliquer par des moyens artificiels les grands

procédés de la nature, appartiennent à ce qu'on pourrait appeler la *Géologie expérimentale,* qui n'a pas encore été étudiée, peut-être, avec l'attention que cette branche de la science paraît mériter.

o. Parmi les substances minérales composant des roches auxquelles on peut assigner une origine chimique, le calcaire est certainement celle qui contient le plus de débris organiques. Les dépouilles organiques se conservent parfaitement, en général, dans les dépôts calcaires que l'on voit se former partout où des eaux fortement imprégnées d'acide carbonique perdent cet acide, de sorte que le carbonate de chaux qu'elles pouvaient d'abord tenir en solution, se précipite sur toutes les substances qu'il rencontre. Des substances organiques se trouvent ainsi enveloppées et conservées dans une matière calcaire ayant des degrés différents de dureté et de solidité, suivant les diverses circonstances qui peuvent en modifier le dépôt. Tout le monde connaît les sources que l'on appelle *incrustantes.* Les substances que l'on y plonge sont simplement incrustées par un dépôt de matières terreuses, ordinairement de carbonate de chaux; dépôt qui provient soit de la perte de la substance à l'aide de laquelle l'eau tenait ces matières en solution, soit de l'évaporation de l'eau elle-même. On reconnaît facilement que ces sources cimentent en une masse solide, qui s'accroît sans cesse, une quantité de plantes, de coquilles terrestres, d'ossements et de cailloux. L'observateur devra surtout porter son attention sur les étangs ou petits lacs formés par des eaux chargées d'acide carbonique, et contenant du carbonate de chaux en solution; et reconnaître la manière de laquelle les débris organiques s'y trouvent souvent enveloppés par un dépôt calcaire. Les eaux courantes laissent déposer aussi du carbonate de chaux sur le fond de leur lit, dans des circonstances favorables. Lorsqu'un observateur rencontre un de ces dépôts calcaires qu'on appelle communément *Travertin,* il devra tâcher de reconnaître sa valeur géologique, en notant les débris organiques qu'il renferme, ainsi que son étendue, son épaisseur, ses caractères généraux, et son importance relativement aux masses minérales qui composent le sol de la contrée.

p. Il est des sources dites *minérales,* qui laissent déposer d'autres substances, telles que de la silice, du sulfate de chaux; on notera la manière dont ces substances enveloppent les restes d'animaux et de végétaux, l'importance relative des substances précipitées, et les circonstances qui en accompagnent le dépôt.

q. On admet qu'il se forme aujourd'hui sur plusieurs points sous la mer de grands dépôts calcaires qui enveloppent des débris organiques. Il est difficile d'en avoir des preuves directes, autrement qu'en examinant si l'eau de la mer laisse déposer du carbonate de chaux

qui envelopperait les débris d'animaux et de végétaux qu'il pourrait rencontrer. On a bien peu de documents sur ce sujet; mais on a pêché des coquilles marines et des coraux cimentés par une matière calcaire compacte, qui paraîtrait un produit de la période géologique actuelle; on a trouvé aussi au fond de la mer des pierres et du sable agglutinés par du carbonate de chaux, qui s'y formerait actuellement. Si les principes salins contenus dans la mer actuelle, sont les mêmes que ceux des mers dans lesquelles se sont déposées tant de masses calcaires pétries de coquilles marines, etc., on ne voit pas de raison *à priori* pour que des dépôts analogues n'aient point lieu de nos jours. On devra apprécier les diverses circonstances qui sont nécessaires pour qu'un dépôt calcaire puisse se produire sous une mer contenant les mêmes principes salins que l'Océan actuel, et tenir compte de l'existence des animaux dont les parties solides pourraient par la suite se trouver enfouies dans un tel dépôt.

r. Il est des personnes qui regardent les récifs de corail comme ayant une très-grande étendue, c'est-à-dire comme recouvrant une surface sous-marine considérable d'une couche de matière calcaire formée des parties solides des polypiers cimentant des coquilles et autres parties solides d'animaux marins. D'autres personnes croient qu'au lieu de recouvrir sans interruption des surfaces étendues, ces récifs ne forment que des lambeaux isolés, à la cime de montagnes sous-marines, ou s'étendant parallèlement aux côtes. Il n'est guère que les officiers de marine qui aient l'occasion d'étudier les diverses conditions sous lesquelles se forment les récifs et les bancs de corail, ou de recueillir des données sur la profondeur à laquelle peuvent vivre certaines espèces de polypiers, sur l'étendue des récifs et sur les autres circonstances analogues. Il serait à désirer, si un observateur n'est pas en état de distinguer lui-même les diverses espèces de corail, qu'il en recueillît des échantillons à diverses profondeurs sur le bord du récif, qu'il les enveloppât avec soin dans quelque substance capable d'en conserver dans leur entier les parties les plus délicates, qu'il y mît des étiquettes indiquant la localité et la profondeur auxquelles ils ont été pris; en sorte qu'on pût les soumettre plus tard à l'examen de quelque naturaliste expérimenté.

X. *Volcans.* Les phénomènes volcaniques sont tellement frappants, qu'il est bien peu de personnes qui se soient trouvées près d'un volcan dans un moment d'éruption, sans en observer jusqu'à un certain point les diverses phases. Mais, à l'exception des observations faites par un petit nombre de savants, tout ce qui a été rapporté sur les phénomènes volcaniques n'a que peu de valeur, en ce qu'on a négligé en général les faits les plus importants, qui seuls peuvent conduire

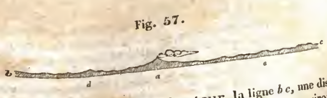
Digitized by Google

à une explication satisfaisante des causes de l'action volcanique.

a. Un observateur doit, en premier lieu, reconnaître la position du volcan; il ne doit pas se borner à la montagne volcanique elle-même, mais il doit comprendre dans ses recherches une aussi grande étendue du terrain environnant que les circonstances le permettront. Si le volcan est situé dans un pays composé de terrains non volcaniques, et que ces terrains soient stratifiés, il faudra examiner avec le plus grand soin la position des couches et vérifier si elles se relèvent de toute part vers le volcan comme centre. Il est nécessaire surtout de ne point s'exagérer l'importance de la montagne volcanique elle-même relativement aux accidents généraux de la contrée, quelle que puisse être d'ailleurs la grandeur réelle du volcan; en évitant de se laisser aller aux illusions que peut occasionner le brillant des éruptions ou le danger personnel que l'on court dans ce genre d'observations, illusions qui tendraient à faire attribuer au volcan plus d'importance qu'il n'en a réellement, si on le rapporte aux dimensions du globe terrestre.

Le meilleur moyen de réduire à sa juste valeur l'importance qu'un observateur peut avoir attribuée à un volcan quelconque, c'est de tracer une coupe exacte du pays dans lequel se trouve ce volcan, en conservant une proportion exacte dans toutes ses dimensions, et n'ayant qu'une même échelle pour les distances verticales et horizontales. Supposons que dans la figure 57, *a* représente la coupe d'un

Fig. 57.



volcan ayant seize cents mètres de hauteur, la ligne *bc*, une distance de quarante mille mètres, et *de*, des montagnes ayant environ huit cents mètres de hauteur; il est évident que si l'on prolonge la ligne *bc* de quarante mille mètres environ de chaque côté, le volcan perdra toute l'importance qu'on lui a donnée à dessein dans la figure 57, en lui supposant une hauteur double de celle des montagnes voisines.

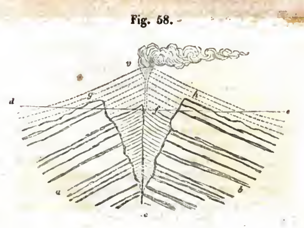
Lorsqu'au lieu d'un volcan isolé on rencontre un groupe de divers volcans, il faut toujours en rapporter l'étendue à celle de la contrée entière; l'on pourra arriver ainsi à reconnaître que presque tout le pays n'est composé, comme, par exemple, l'Islande, que de produits volcaniques. De cette manière on ne risquera point de s'exagérer

l'importance soit d'un volcan isolé, soit d'un groupe de volcans; on ne risquera pas non plus de ne point donner à une région volcanique toute l'importance relative qu'elle peut mériter.

b. On a beaucoup discuté récemment si, avant qu'un volcan s'ouvre dans un terrain quelconque, les couches de ce terrain sont ou non relevées autour de l'orifice par lequel se font plus tard les éruptions de matières volcaniques gazeuses, liquides et solides. On a donné le nom de *cratère de soulèvement* aux points que l'on suppose avoir été soulevés et disloqués par des forces agissant de bas en haut sur les couches préexistantes, afin de les distinguer des *cratères d'éruption*, qui auraient été produits plus tard par les cendres, les lapillis et les laves rejetées par le volcan, qui se dispersent en cône ayant au sommet une cavité en entonnoir, qui est maintenue ouverte par la force des vapeurs élastiques qui s'en échappent, en poussant devant elles les diverses matières volcaniques solides. D'autres géologues croient que l'on a pris pour des *cratères de soulèvement* de véritables *cratères d'éruption;* ils expliquent les phénomènes qui s'observent, par le déplacement des orifices volcaniques, et en admettant que la force volcanique n'agit aujourd'hui que sur une petite échelle au centre d'un emplacement que le même volcan a recouvert en entier, lorsqu'il était dans un état d'activité plus énergique, et que les matériaux qui formaient jadis le grand cône extérieur, dont on ne voit aujourd'hui qu'une partie, ont été dispersés dans une grande éruption volcanique.

Pour bien faire comprendre la théorie des *cratères de soulèvement,* supposons que *ab,* dans la figure 58, représente un terrain soulevé

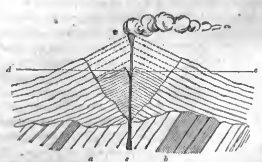
Fig. 58.



Digitized by Google

par une force, *c*, agissant de bas en haut avec une intensité capable de le fracturer. Dès que les vapeurs élastiques et les gaz auront une libre issue, ils accumuleront des cendres, des lapillis et des laves en forme conique, ainsi que le représentent les lignes pointillées au-dessous du point *v*, et l'apparence générale du volcan à une époque donnée quelconque, dépendra de la quantité des matériaux volcaniques ainsi accumulés. Pour être mieux compris, nous avons supposé que les premières éruptions ont eu lieu sous la mer, de sorte qu'à une certaine époque donnée il a pu y avoir un volcan, *f*, formant une île, entourée par un amphithéâtre, *g h*, formant une seconde île circulaire. Il est évident que, par les accumulations successives de matériaux volcaniques, la cavité résultant de la fracture du terrain *a b*, pourra finir par être remplie, et le terrain *a b* lui-même recouvert par les substances dégagées par le volcan. La figure 58 n'est qu'un cas particulier des diverses dislocations de couches avec lesquelles les cônes d'éruption peuvent se trouver en relation et auxquelles on peut donner le nom de *cratères de soulèvement*. Pour expliquer ce qu'est un simple *cratère d'éruption*, supposons que *a b* (fig. 59) est un terrain percé

Fig. 59.



en *c* par une crevasse qui n'a point soulevé les couches *a b*. Si *d e* représente le niveau de la mer, et qu'il se fasse des éruptions volcaniques par la crevasse *c*, les matériaux de ces éruptions s'accumuleront en forme d'enveloppes coniques successives, jusqu'à atteindre une hauteur donnée quelconque, *v*. Si alors une grande explosion volcanique vient à enlever toute la masse représentée au-dessous de *v* par des lignes pointillées, et que le volcan continue au centre avec une activité moins énergique, on pourra avoir une île volcanique située au centre d'une autre île circulaire, qui embrassera la première en forme d'amphithéâtre.

Avant d'appeler l'attention de l'observateur sur des faits particuliers, nous ferons observer d'abord que la disposition que présentent les couches disloquées de la figure 58, est assez fréquente parmi des terrains non volcaniques, tant sur de grandes échelles que sur des petites, et que la supposition de couches ainsi disposées n'est nullement une chose extraordinaire en géologie.[1]

c. L'observateur devra vérifier si, dans une région volcanique qu'il voudrait étudier, il existe des preuves d'un plongement général des couches vers la circonférence de cette région, quelle que soit d'ailleurs son étendue. S'il parvient à reconnaître un tel plongement, il cherchera à suivre le prolongement des couches, en distinguant si ces couches sont ou non volcaniques. Si le terrain se compose d'assises de roches ignées, telles que des trachytes, des basaltes, des conglomérats trachytiques ou basaltiques, et autres roches analogues, il devra reconnaître toute l'étendue de ces couches autour de l'orifice ou des orifices volcaniques; car, si ces couches se suivent sans autres changements de structure que ceux qui se voient sur des points peu éloignés de couches horizontales; si elles ne sont interrompues que par des ravins rayonnant autour de l'orifice ou des orifices volcaniques comme centre, toutes les probabilités seront en faveur de l'existence sur ce point d'un cratère de soulèvement. Si le terrain qui environne une région volcanique était composé de couches sédimentaires, et que ces couches se relevassent aussi vers l'orifice ou les orifices volcaniques comme vers un centre, tout tendrait encore à prouver l'existence d'un cratère de soulèvement.

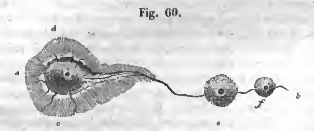
Si au contraire les assises, plongeant vers l'extérieur d'un district volcanique, sont composées simplement de cendres, de lapillis et autres substances incohérentes, dans lesquelles on trouve çà et là quelques parties solides, telles que pourraient les présenter des courants de lave, on aura un cratère d'éruption; quoiqu'il puisse y avoir au-dessous, comme dans la figure 58, un cratère de soulèvement caché par les matières incohérentes. Nous ne voyons pas de raison cependant pour qu'il ne puisse y avoir un grand nombre de cratères d'éruption qui ne reposeraient point sur des cratères de soulèvement; tandis qu'il y aurait en même temps une quantité de cônes volcaniques produits par des éruptions successives, qui seraient supportés par des cratères de soulèvement, dont plusieurs ne seraient point visibles aujourd'hui. Les accumulations de cendres, de lapillis, et de courants de lave, qui composent les cônes volcaniques, ne sont autre chose que des amas de substances rejetées au dehors par les vapeurs élas-

[1] Voyez les *Recherches sur la partie théorique de la géologie*, page 149.

tiques et les gaz, sur les points où ces vapeurs et ces gaz réussissent à se faire jour. Il est évident que de tels orifices peuvent aussi bien se trouver sur les grandes lignes de fracture qui existent à la surface de la terre, que sur les points où des couches préexistantes ont été fortement arquées, de manière à prendre une figure approchant de l'hémisphérique, dont la partie moins résistante, c'est-à-dire le point central et le plus élevé, aurait été fracturée. L'observateur devra porter son attention sur les dimensions de la cavité cratériforme qu'il a sous les yeux; si cette cavité est fort considérable, comme celle, par exemple, de l'île de la Déception, dans la Nouvelle-Shetland du Sud[1], qui a huit mille mètres de diamètre, il ne sera point probable qu'un tel cratère soit dû simplement aux éruptions du volcan, tandis que des cratères d'un diamètre de beaucoup inférieur peuvent être considérés comme cratères d'éruption, faute de preuves directes, qui manquent souvent dans les îles.

On peut concevoir facilement l'existence simultanée, sur une même ligne de fracture, d'un cratère de soulèvement ayant un cratère d'éruption à son centre, et d'un autre cratère d'éruption sans aucun indice d'un cratère de soulèvement. Supposons que *a b* (fig. 60)

Fig. 60.



représente une partie d'une grande dislocation ou fracture, telle qu'il en existe sur plusieurs points de la surface terrestre; et que *a* est le point où cette fracture se termine en une courbe, qui, étant dénudée suivant un plan horizontal, donne à l'affleurement des couches une disposition circulaire, que l'on a appelée *cirque de soulèvement*, lorsqu'il en résulte des cavités de grandes dimensions. Si les vapeurs et gaz volcaniques qui tendent à s'échapper, réussissent à se faire jour sur ce point, il s'y formera probablement une accumulation conique de cendres, de lapillis et de lave, entourée par un escarpement circulaire, *d a c*, de couches plongeant vers l'extérieur, et en conséquence on aurait un cratère d'éruption au centre d'un cratère de soulèvement

[1] *Journal of the geographical society.*

préexistant. Que si les vapeurs et gaz volcaniques ont réussi à se faire jour aussi sur les deux points *e* et *f* de la ligne de dislocation, et qu'ils y aient accumulé des cendres, des lapillis et des laves, on y aura deux cratères d'éruption, sans aucun cratère préexistant de soulèvement, quoiqu'il soit facile de concevoir que les couches préexistantes tendraient à se relever de chaque côté vers la ligne de fracture. On peut imaginer aisément plusieurs autres irrégularités et courbures de la grande ligne de dislocation, qui pourraient donner passage aux produits volcaniques, de manière à accumuler un ou plusieurs monticules au centre d'un soulèvement des couches disposé en forme de cratère indépendamment de l'action volcanique. D'un autre côté, l'action intérieure, se dirigeant plus particulièrement sur un point que sur un autre, pourrait soulever les roches superincombantes et former un vaste orifice cratériforme, dans le centre duquel pourrait s'accumuler par la suite un mamelon conique de cendres, de lapillis et de lave.

Nous voudrions que l'observateur s'appliquât à vérifier ce qu'il y a de probable dans la tendance des volcans à se placer sur des lignes de dislocation droites ou courbes. On a souvent regardé la ligne des volcans du Mexique, qui va de l'Est à l'Ouest et comprend le volcan de Jorullo, qui s'est formé brusquement dans le dernier siècle, comme une grande dislocation de la surface terrestre, sur les points de moindre résistance de laquelle il s'est établi des orifices volcaniques.

d. L'observateur devra s'occuper des dimensions du volcan comparées à la violence de ses éruptions. Les éruptions volcaniques ont évidemment des degrés différents d'intensité; mais il est facile de concevoir qu'une intensité donnée, produite par des circonstances données, peut être modifiée et diminuée par des changements survenus dans ces circonstances; en sorte que le maximum de l'intensité des éruptions d'un volcan peut être plus grand dans les premières périodes de son existence que dans les périodes suivantes; car une tension donnée des gaz et des vapeurs élastiques, aura moins de résistance à vaincre lorsqu'une issue vient d'être ouverte pour la première fois à ces fluides gazeux, que lorsque cette issue est encombrée par une colonne de laves, de lapillis et autres produits analogues, et entourée d'un grand amas conique de lapillis et de cendres, liés en un seul tout par des lignes rayonnantes de courants de lave successivement accumulés. Il s'ensuit que l'on aura, toutes choses égales d'ailleurs, un plus grand nombre de cônes latéraux subordonnés dans un volcan qui est depuis longtemps en activité, que dans un volcan qui se trouverait dans les premières périodes de son existence. Il est évident qu'on ne peut pas juger de l'ancienneté

relative de deux volcans tels que l'Etna et le Vésuve, parce que l'un des deux sera plus grand que l'autre, et qu'il existera des cônes latéraux sur l'un et non sur l'autre; à moins que l'on ne puisse démontrer que l'énergie de l'action volcanique de l'un est toujours égale à celle de l'autre, et que cette action accumule dans un temps donné des quantités de matière égales, qui donnent lieu à une égale résistance à l'exercice de cette action.

e. Il est très-important de se procurer de bonnes observations sur la composition chimique des diverses vapeurs et substances gazeuses qui se développent dans une éruption volcanique, ainsi que de celles qui s'échappent des crevasses et des fissures du cratère et des flancs de ce même volcan dans ses phases de moindre activité, c'est-à-dire pendant ce qu'on appelle son état de repos; ces observations peuvent conduire, en effet, à quelques données sur les causes de l'action volcanique en elle-même. On paraît pencher maintenant vers la théorie qui attribue les phénomènes volcaniques à l'infiltration de l'eau de la mer, ou d'une autre eau tenant en dissolution les mêmes sels, jusqu'aux bases métalliques de certaines terres et alcalis[1]. Il est évident que pour éprouver la valeur de cette théorie, ou de toute autre opinion qui serait également fondée sur l'infiltration de l'eau jusqu'aux foyers volcaniques, il importe d'examiner les vapeurs et les gaz qui se dégagent des volcans situés à différentes distances de la mer ou d'autres grandes masses d'eau. Si l'observateur est chimiste, il procédera à cet examen de la manière la plus convenable pour assurer le succès de ses expériences; s'il n'est pas versé lui-même dans la chimie, il pourra au moins, en se conformant aux instructions suivantes, recueillir des gaz et des vapeurs qui pourront être analysés plus tard.

Il aura des flacons de verre à bouchons fermant très-exactement, et qu'il pourra mieux ajuster lui-même en les usant au moyen d'émeri très-fin humecté d'eau. Il remplira ces flacons d'eau de source (ou d'eau distillée, s'il en a sous la main), les videra aussi près que possible de l'orifice par lequel s'échappe la matière gazeuse, et les fermera avant de les retirer. Il aura eu soin d'oindre le bouchon de verre d'une substance grasse quelconque; et ensuite il couvrira la ligne de jonction du bouchon avec le goulot du flacon, d'un enduit de cire fondue avec la moitié de son poids de résine; pour plus de

[1] Il faut rapporter à l'Angleterre ce que l'auteur dit ici du penchant que l'on aurait à expliquer l'action volcanique par la théorie chimique de sir H. Davy. Les géologues du continent, tout en rendant justice aux recherches du grand chimiste anglais, ne négligent cependant point les grands phénomènes dynamiques qui paraissent jouer un si grand rôle dans les effets de la volcanicité. (*Note du traducteur.*)

précaution, il assujettira le bouchon avec une forte ficelle. Dans la plupart des cas on peut se contenter de flacons pouvant contenir de deux à quatre onces d'eau; mais si l'on en avait de plus grands sous la main, ils seraient à préférer. Si l'on ne peut se procurer des flacons à bouchon de verre, on pourra se servir de bouteilles ordinaires, avec des bouchons de liége; dans ce cas il faudrait d'abord rendre le bouchon plus souple en le frappant fortement entre deux pierres plates; et quand on aurait bien fermé la bouteille, il faudrait couper la partie du bouchon qui dépasse le goulot, et recouvrir le tout d'un enduit de cire et de résine, ou de cire à cacheter.

f. Si l'on peut approcher, sans trop de danger, du cratère d'un volcan pendant ses éruptions, il faudra recueillir, à plusieurs reprises, les gaz et les vapeurs qui s'en exhalent, afin de vérifier s'il se fait quelque changement dans la nature et les proportions des substances qui entrent dans leùr composition. On croit généralement que, s'il se dégage de l'acide carbonique dans un volcan, c'est vers la fin de quelque éruption considérable que ce dégagement a lieu.

g. On devra recueillir avec soin, lorsque la chose est possible, les diverses sublimations qui se rencontrent dans les fissures ou sur les parois des cheminées volcaniques, en renfermant dans des flacons à bouchon de verre bien cacheté, les produits sujets à tomber en déliquescence, ou à s'altérer par l'action de l'atmosphère; en sorte que, lorsqu'on voudra les analyser plus tard, ces substances soient, autant que possible, dans le même état que lorsqu'on les a recueillies prés de l'orifice du volcan. La comparaison de tels produits recueillis dans différents volcans diversement situés, donnerait des lumières qui pourraient mettre sur la voie d'une véritable théorie volcanique.

h. Quant aux roches à l'état de fusion liquide, c'est-à-dire à la lave rejetée par un volcan, sa composition chimique et minéralogique dépendra nécessairement d'une foule de circonstances que l'on ne peut guère avoir l'occasion d'observer. Les caractères principaux de la lave seront ceux de la masse de laquelle elle tire sa source, soit que cette masse se compose des oxides de certaines terres et alcalis, qui viendraient de se former par le contact de l'eau qui aurait pénétré jusqu'à leurs bases métalliques, ou d'une matière dont la liquidité ignée serait due à une autre cause. La profondeur de laquelle la lave provient en général, est probablement de beaucoup inférieure à la surface des roches qui forment l'orifice par lequel elle s'épanche. On peut rechercher cependant s'il y a quelque analogie entre la composition chimique des laves sortant d'un volcan donné quelconque, et celle des roches qui forment la surface générale du pays. Quelques volcans rejettent des fragments de roches qui sont évidemment iden-

Digitized by Google

tiques avec celles des terrains qui les environnent. Ainsi le Vésuve a rejeté des fragments calcaires de même nature que les couches des montagnes calcaires voisines, de sorte que la cheminée volcanique doit probablement traverser la continuation souterraine de ces couches, dont quelques fragments sont arrachés accidentellement par le volcan. Si ces fragments n'étaient pas immédiatement rejetés, ils se fondraient probablement dans la masse générale de la lave, l'acide carbonique se dégageant; et la chaux, qui se combinerait avec la silice, rendrait cette masse entière plus facilement fusible par la présence d'une plus grande quantité de silicate de chaux. Plusieurs schistes argileux et autres roches ayant les caractères minéralogiques de la grauwacke, peuvent, avec quelques précautions, être convertis en ponces dans nos fourneaux; de sorte qu'on peut présumer que les ponces des volcans éteints des bords du Rhin, ont fait partie jadis du terrain de grauwacke des contrées voisines, et que les roches en ont été converties en ponce par la chaleur. Il ne faudrait pas croire cependant que toutes les pierres ponces aient une origine semblable.

i. Il serait à désirer qu'un observateur recueillît des échantillons bien caractérisés des divers courants de lave vomis par un même volcan à des époques différentes, de manière à ce qu'on pût reconnaître s'il y a quelque différence chimique sensible dans leur composition, différence qui pût conduire à montrer que les conditions sous lesquelles se produit la lave d'un volcan, ont subi quelque variation depuis que ce volcan a rejeté, pour la première fois, des roches à l'état de fusion ignée.

k. Il serait à désirer aussi que l'on observât dans les conglomérats volcaniques anciens qui peuvent se trouver près d'un volcan qui rejette aujourd'hui des fragments de roches non volcaniques, si de semblables fragments ne seraient pas plus fréquents dans ces anciens conglomérats que dans ceux qui peuvent se former aujourd'hui autour du même volcan; car, s'il en était ainsi, il devrait y avoir eu un changement dans les circonstances qui amènent un volcan à rejeter des fragments de roches non volcaniques. On conçoit facilement que, lorsque des substances volcaniques se font jour pour la première fois par une cheminée qui traverse un terrain non volcanique, elles auront plus de tendance à chasser devant elles des fragments de roches préexistantes, que lorsque le passage continué des matières volcaniques aura détruit toutes les aspérités de la cheminée. Que si, au contraire, on ne trouvait point de fragments de roches non volcaniques dans les conglomérats anciens qui peuvent entourer un volcan qui en lancerait aujourd'hui par son cratère, il y aurait dû avoir aussi quelques variations dans le régime intérieur de ce volcan,

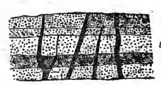
variations qui seraient dues à d'autres causes que celles qui auraient pu produire l'effet que nous avons indiqué plus haut comme probable.

l. On devra noter les distances auxquelles sont portés tout autour d'un volcan, lors de ses éruptions les plus violentes, les fragments de roches, la lave liquide, les lapillis et les cendres, afin qu'on puisse bien apprécier les caractères du dépôt qui en résultera, soit que ce dépôt se fasse sur un sol découvert, dans un lac d'eau douce, ou bien dans la mer. Il est bien reconnu que les cendres les plus légères peuvent être transportées par les courants aériens à des distances considérables. Il serait à désirer qu'on vérifiât la composition chimique de cette matière volcanique très-atténuée, afin de reconnaître les changements qu'elle pourrait subir ou occasionner plus tard, soit qu'elle tombe sur la terre ou dans les eaux.

m. On devrait examiner avec soin les vapeurs et les gaz qui se dégagent dans les *solfatares* (nom générique que l'on applique à tous les dégagements de substances volcaniques gazeuses, d'après la *solfatara* de Naples), et noter les effets chimiques qui résulteraient de leur action sur les laves, les lapillis et les cendres voisines. Les solfatares peuvent, jusqu'à un certain point, être regardées comme des volcans à un état de faible activité; la quantité relativement peu considérable de vapeurs et de gaz qui s'y développent, trouvant facilement à se dégager par une sorte de soupape de sûreté, il ne s'y fait point d'explosions de matières élastiques soumises à une haute pression, et par conséquent il ne s'y accumule point de substances solides chassées par ces explosions, qui, dans d'autres circonstances, formeraient autour de l'orifice un monticule conique ayant à son sommet un entonnoir dont l'axe coïnciderait avec celui de la cheminée volcanique.

n. L'observateur qui étudie les parties intérieures d'un cône volcanique, mises à jour par une cause quelconque, y trouve fréquemment des portions de roches solides, coupant des assises de cendres, de lapillis et autres matériaux incohérents, ainsi que cela se voit dans la figure suivante (fig. 61), dans laquelle *a b* représente une section

Fig. 61.



Digitized by Google

horizontale des enveloppes coniques ou autres de cendres et de matières incohérentes diverses, traversées par des filons de roches solides, *cdef*. Ces filons de roches solides s'appellent des *dykes volcaniques;* ils résultent de fissures dans les assises *ab* (produites par les oscillations du sol du volcan pendant ses périodes d'activité), remplies par la lave liquide qui s'est élevée à travers ces fissures, ou y a été autrement injectée. L'observateur devra examiner la composition minéralogique de ces dykes de lave, et noter jusqu'à quel point les mêmes substances élémentaires ont pu se combiner ou se disposer différemment dans la matière des dykes et dans celle des courants de lave ordinaires du volcan, par suite des diverses conditions auxquelles ils ont été respectivement assujettis. Il devra observer aussi jusqu'à quel point les molécules des assises de cendres ou de lapillis voisines des dykes, et exposées à la chaleur de la lave qui a rempli les fissures de ces assises, ont pu être contraintes à prendre une position relative diverse de celle qu'elles occupaient antérieurement, et qu'elles conservent encore dans les parties de ces assises qui sont plus éloignées des dykes. Les modifications ainsi produites dans les assises incohérentes, sont quelquefois du plus grand intérêt.

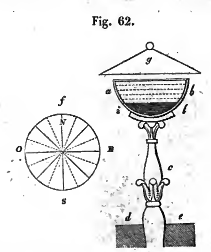
XI. *Tremblements de terre.* L'importance géologique des tremblements de terre consiste principalement dans les élévations ou dépressions du sol qui peuvent en résulter, surtout si ces élévations ou dépressions ont lieu sur les bords d'un lac ou de la mer, ou bien en travers de la ligne de plus grande pente suivie par les eaux, et qu'il en résulte un changement dans la structure physique d'un pays. Il se produit quelquefois aussi des crevasses et des dislocations dans la surface solide de la terre.

a. L'étendue de la surface qui a été agitée par un tremblement de terre donné, est très-importante à connaître, car c'est là un des premiers éléments à prendre en considération lorsqu'on recherche la cause des tremblements de terre. Il est évident que ce n'est point une seule personne qui peut reconnaître par ses propres observations l'étendue du sol agité par un tremblement de terre, mais les observations continuées de plusieurs peuvent amener à des données importantes. Il est donc essentiel, pendant un tremblement de terre, que divers observateurs prennent sur différents points une série de notes semblables, toutes les fois que les circonstances se prêteront à ce genre de recherches.

b. On admet généralement que les secousses des tremblements de terre agissent suivant des lignes dirigées tantôt dans un sens, tantôt dans un autre. Il serait, en conséquence, à désirer de savoir si ces

lignes font partie de grandes courbes, et ne paraissent droites qu'en raison de ce qu'on ne les observe à la fois que sur des distances relativement peu étendues, ou si ce sont réellement des lignes droites par rapport à une direction donnée à la surface de la terre, et qu'on puisse suivre sur de grandes distances. C'est encore là une observation qui ne peut se faire que par le concours de diverses personnes. M. Babbage a suggéré un moyen fort simple, et qui nous paraît sûr, de reconnaître la direction que suit un tremblement de terre. Ce moyen consiste à mettre dans un vase de verre de grandeur convenable, un liquide visqueux, qui, lorsque le vase reçoit du sol un mouvement latéral, y marque sur deux côtés opposés du vase l'ondulation à laquelle la secousse a donné lieu. La direction du tremblement de terre sera donnée alors par une ligne passant par les sommités des deux courbes opposées, marquées sur les parois du vase[1]. Si l'on construisait, sur ce principe, des instruments entièrement semblables entr'eux, on pourrait reconnaître non-seulement la direction des tremblements de terre, mais encore, jusqu'à un certain point du moins, leur intensité relative sur différents points. Supposons que *ab* (fig. 62), soit un

Fig. 62.



vase hémisphérique d'une grandeur donnée, en terre vernissée, ou en verre, suivant qu'on le jugera plus convenable, rempli jusqu'à la hauteur *il* d'une substance liquide visqueuse qu'on croira la plus propre à remplir le but qu'on se propose. Que l'on marque dans

[1] *Economy of Manufacturers*, 2.e édition, page 58.

l'intérieur du vase, depuis la surface du liquide jusqu'au bord supérieur, des lignes horizontales équidistantes, et que l'on fixe ce vase d'une manière invariable sur un piédestal vertical, *c*, fortement enfoncé dans le sol *de*, dans une cour ou un jardin, loin de toutes les causes qui peuvent produire des vibrations accidentelles dans une maison habitée, et à l'abri de la chute des édifices voisins, qui pourrait avoir lieu pendant le tremblement de terre. Il faudrait couvrir exactement le vase d'un disque circulaire de verre, *f*, afin qu'il ne puisse s'y introduire aucun insecte ni autre corps étranger; et l'on pourrait utiliser ce disque en y traçant très-correctement les différents points de l'horizon, de sorte que la ligne nord-sud du disque se trouvât dans la ligne du méridien vrai du lieu de l'observation. On pourrait alors reconnaître de suite la direction de l'ondulation produite par le tremblement de terre, sans avoir à déplacer le vase. Pour mettre l'instrument à l'abri des actions météorologiques, on peut le recouvrir d'un couvercle conique, comme celui figuré en *g*. Un tel instrument ne coûterait presque rien, et on pourrait en avoir un grand nombre dans les pays sujets aux tremblements de terre. On arriverait par là à reconnaître non-seulement la direction des secousses, mais on pourrait, jusqu'à un certain point, juger de leur intensité, ou du moins de l'ondulation plus ou moins forte de la surface du sol qui aurait élevé le liquide visqueux renfermé dans le vase à une hauteur plus ou moins grande au-dessus de son niveau ordinaire.

c. Supposons maintenant que l'on ait placé sur un grand nombre de points des instruments comme celui que nous venons de décrire, ou autres pouvant servir au même usage, on aura le moyen de reconnaître si les secousses d'un tremblement de terre paraissent, comme dans la figure 63, avoir rayonné autour d'un point central, *a*,


Fig. 63.

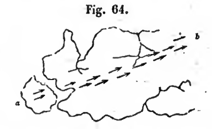


à partir duquel leur intensité aurait été toujours en diminuant, ou

Digitized by Google

bien si elles ont suivi une direction constante, comme celle *ab* dans la figure 64. Dans le premier cas on aura un centre de perturbation,

Fig. 64.

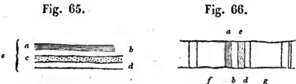


et la cause du tremblement de terre aurait produit des vibrations autour de ce centre. Dans le second, rien n'indique qu'il y ait eu sur un point quelconque de la surface du globe, une action centrale qui ait donné lieu à des vibrations qui auront rayonné autour de ce point. Il se peut que la vibration n'ait fait que parcourir une ligne de fracture préexistante dans l'écorce terrestre, sur laquelle une force agissant de bas en haut et située à de grandes profondeurs au-dessous de la surface, aura plus de facilité à agir, car elle rencontrera moins de résistance dans ces lignes de fracture que dans les parties de l'écorce terrestre qui n'ont point été ainsi accidentées. Comme nous ne voulons nullement appeler l'attention du lecteur sur une théorie particulière quelconque, nous le renverrons aux divers traités de géologie, dans lesquels il trouvera les différentes explications qu'on a proposées jusqu'à ce jour pour les tremblements de terre; il pourra choisir lui-même celle de ces explications qui lui paraîtra offrir le plus de probabilité. Il arrivera peut-être à conclure que les vibrations de l'écorce terrestre auxquelles on donne communément le nom de tremblements de terre, peuvent provenir de plus d'une cause. S'il en est ainsi, on doit s'attendre à trouver des différences dans les effets de ces causes diverses; et dès lors il faut s'attacher à observer les faits dans le plus grand détail, et avec tous les moyens en notre pouvoir; ces faits, une fois bien classés et dûment comparés entre eux, pourront servir à la fin à fonder une véritable théorie sur l'origine des tremblements de terre.

d. Mais quelle que soit la cause de ce phénomène, les vibrations qui en résultent doivent être perturbées et modifiées par la nature des substances qu'elles auront à traverser. On devra donc examiner la compacité et les autres caractères des roches des régions exposées aux tremblements de terre. Une force quelconque agissant avec une intensité donnée, peut produire des vibrations très-variées dans des

Digitized by Google

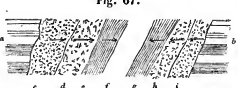
terrains différents; et, dans certains cas, cette force peut suffire précisément à produire des vibrations dans un terrain et non dans un autre, en sorte qu'il y aura tremblement de terre sur la direction de ce terrain et non sur celle d'un terrain différent. Les effets résultant de cette cause dépendront en grande partie de la position relative des couches d'un terrain; aussi cette position est-elle très-importante à observer. Des couches placées horizontalement les unes au-dessus des autres, transmettront les vibrations qu'elles recevront d'une force ayant une intensité donnée, avec plus de facilité que ne le feraient les mêmes couches si elles étaient dans une position verticale; car, dans ce dernier cas, la résistance serait probablement plus grande que dans le premier. Soient *abcd* (fig. 65) quatre couches placées



horizontalement les unes au-dessus des autres, et exposées à l'action d'une force latérale, *e*, elles opposeront moins de résistance à la vibration occasionnée par cette force, que si ces mêmes couches étaient dans une position verticale et enclavées dans des masses de terrains, *fg* (fig. 66), et que la même force latérale vînt à agir sur ces couches dans la direction de l'œil du lecteur.

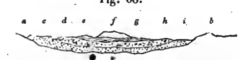
On devra chercher à vérifier s'il y a quelque coïncidence entre la direction générale des chaînes de montagnes et celle des tremblements de terre; ou si cette coïncidence a lieu entre la direction dominante des tremblements de terre et la direction générale des couches d'une contrée dans laquelle le redressement de ces couches n'aurait pas produit de chaîne de montagnes. Cependant il faut se rappeler que la direction générale des couches d'un terrain peut être masquée à la surface terrestre par des accumulations plus récentes, et par conséquent il faut voir s'il est probable que ce terrain plus ancien se prolonge au-dessous des dépôts modernes suivant une direction donnée. Car, si la direction des couches des terrains stratifiés avait une influence sur la direction des secousses d'un tremblement de terre, et si la cause de ces secousses était située à l'intérieur de la terre, ce serait la direction des couches inférieures qui tendrait d'abord à modifier les vibrations qui devraient se produire dans celles qui leur sont superposées. Soit *a b* (fig. 67) un terrain

Fig. 67.



stratifié quelconque, appartenant au groupe de la grauwacke, par exemple, et dirigé de l'Est à l'Ouest, qui contiendra dans une cavité en forme de grand bassin, une série de couches, *c i*, *d h*, *e g*, et *f*, disposées ainsi qu'on le voit dans la coupe de la figure 68, dans

Fig. 68.



laquelle les mêmes lettres marquent les mêmes terrains que ceux du plan horizontal de la figure 67. Supposons que l'affleurement et la direction de ces couches plus récentes *ci*, *dh*, *eg*, et *f*, aillent à peu près du nord-nord-est au sud-sud-ouest. Si, dans cet état de choses, on trouvait que les secousses d'un tremblement de terre sont dirigées, au-dessus des couches *c i*, *d h*, *e g*, et *f*, de l'est à l'ouest, il ne faudrait point se hâter de conclure que ces secousses ne sont point influencées par la direction des couches, parce que les couches superficielles sont dirigées du nord-nord-est au sud-sud-ouest; car, dans ce cas, les secousses dont il s'agit, influencées par la direction des couches inférieures, auraient dû prendre la direction de ces couches, qu'elles auront conservée, même en traversant les couches plus récentes qui ont une direction différente.

e. Si l'on a quelque raison de croire que les secousses d'un tremblement de terre aient produit un soulèvement ou une dépression quelconque dans le sol d'une contrée, il faudra vérifier avec exactitude le changement de niveau relatif qui peut s'être opéré sur différents points. Le plus souvent c'est au niveau général de la mer qu'il est le plus facile et le plus sûr de rapporter les diverses oscillations du sol; car, pour produire un changement de niveau sensible dans la mer, il faut des mouvements du sol sous-marin bien plus énergiques que ceux que l'on peut attribuer à l'action souterraine qui produit les tremblements de terre ordinaires, quelle que soit d'ailleurs la cause de cette action.

Digitized by Google

L'observateur devra donc mesurer avec soin toute élévation ou dépression du sol produite par un tremblement de terre, en comparant les points qui auraient été déplacés au niveau moyen de la surface de la mer, avant et après le phénomène; la différence exacte entre les deux hauteurs sera la mesure du changement de niveau produit par le tremblement de terre. Il est probable qu'en procédant ainsi et en tenant compte de la différence qu'il peut y avoir dans la hauteur des marées, et de l'influence des vents, qui, au moment de l'observation, peuvent occasionner une altération locale dans le niveau de la surface de la mer, on finirait par trouver que les mesures que l'on a données des soulèvements et des dépressions du sol par suite des tremblements de terre, ont été souvent exagérées dans un sens ou dans l'autre.

Il est nécessairement fort difficile de reconnaître les élévations ou dépressions du sol qui peuvent avoir lieu dans l'intérieur d'un continent, à moins que la hauteur absolue de plusieurs points de ce pays n'ait été déterminée exactement; auquel cas les changements survenus dans les hauteurs relatives de ces différents points, donneraient la mesure de l'élévation ou de la dépression occasionnée par le tremblement de terre. Il n'y a presque point de pays dont les diverses hauteurs aient été mesurées avec assez de précision pour pouvoir servir de point de repère dans de telles observations, quoiqu'il y ait sans doute des points de la surface terrestre dont la hauteur absolue est bien connue. Mais on peut, dans quelques cas, partir de la vitesse des rivières, qui est généralement assez bien connue par suite des usines auxquelles cette vitesse sert de moteur, pour constater les changements de niveau du sol, qui, donnant plus ou moins de pente au cours général des rivières, augmenteraient ou diminueraient leur vitesse. Il serait fort à désirer qu'on s'occupât d'avoir des données précises à cet égard; car jusqu'ici les calculs par lesquels on a voulu arriver à connaître le volume des masses du sol élevées ou abaissées par un tremblement de terre, n'ont point été appuyés sur des bases assez certaines; et les chiffres auxquels on est arrivé peuvent être fort loin de la réalité.

f. Il serait très-difficile, en général, d'estimer la profondeur à laquelle une étendue donnée quelconque de côtes peut avoir été abaissée au-dessous du niveau de la mer par une succession de tremblements de terre, à moins qu'on n'ait des documents historiques suffisants pour une telle détermination; mais si une côte qu'on sait avoir été soulevée par des tremblements de terre, présente une série de plages élevées en terrasses les unes au-dessus des autres, et si on a la preuve authentique que la plage inférieure a été portée

Digitized by Google

à sa hauteur actuelle par un tremblement de terre, on en pourra conclure la hauteur totale du soulèvement, par celle de la plus élevée des terrasses ; bien entendu qu'il faut tenir un compte exact de l'influence de toutes les causes qui peuvent avoir contribué au phénomène général observé.

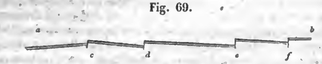
g. Dans les cas où l'on suppose que le fond de la mer a été élevé par un tremblement de terre, si un volcan voisin était en activité pendant le même temps, il faudra chercher à vérifier s'il ne serait pas tombé une quantité de cendres et de lapillis sur le fond de la mer qu'on suppose avoir été soulevé. On examinera en même temps la ligne du niveau de la mer sur la côte voisine ; s'il n'y a eu sur cette côte aucun changement de niveau relatif entre la terre et la mer, et qu'il y ait eu une chute considérable de matières volcaniques incohérentes dans la localité que l'on suppose avoir été soulevée, il est probable que le prétendu soulèvement du fond de la mer attribué à un tremblement de terre, aura une tout autre cause. Sur les côtes sur lesquelles il n'y a pas eu de dispersion de matières volcaniques, il faut tenir compte des matières qui peuvent avoir été jetées sur la plage, et l'avoir augmentée par l'action des brisants, qui en général agissent avec violence pendant les tremblements de terre, et accumulent de grands amas de détritus sur les côtes, d'après le même principe qui fait que leur action est plus énergique pendant les ouragans qui soufflent vers la terre que dans les temps de calme. Les accumulations de mollusques vivants, de coraux, etc., qu'on peut trouver sur une côte à la suite d'un tremblement de terre, ne sont point un indice certain du soulèvement de cette côte ; car elles peuvent résulter encore de l'action extraordinaire des brisants, dont les vagues ont pu enlever la vase et le sable du fond de la mer, ainsi que les mollusques et les coraux qui y vivaient, pour rejeter le tout sur la côte. Nous désirons mettre sur ses gardes un observateur qui aurait à examiner un phénomène de soulèvement dont les circonstances seraient équivoques, et lui bien rappeler que dans de telles circonstances une simple augmentation de hauteur d'une plage donnée, une terrasse de coquilles marines vivantes, alignées le long de la côte, ne suffisent point, faute d'autres preuves plus décisives, à prouver qu'il y ait eu là une élévation du sol sous-marin, par suite d'un tremblement de terre.

h. On ne peut guère s'attendre à ce qu'un observateur conserve assez de calme, au milieu du danger qui l'entoure pendant un tremblement de terre qui produit des crevasses et des fentes dans le sol, pour songer à recueillir les gaz et les vapeurs qui peuvent s'échapper de ces crevasses. Mais il peut fort bien conserver le

souvenir de l'odeur particulière qui s'exhalerait par ces fentes, ainsi que de toute apparence de flammes. On assure que l'on a vu quelquefois des flammes sortant de la terre pendant des tremblements de terre, et si l'on n'a point été, dans ce cas, trompé par de fausses apparences, il serait à désirer qu'on eût des données assez exactes sur ces flammes, pour tâcher d'arriver à en connaître la cause. On devra noter avec soin les diverses dislocations produites par un tremblement de terre, et mesurer bien exactement le nombre de pieds dont un des côtés d'une fissure peut monter ou descendre par rapport à l'autre; tout en observant si un tel changement de niveau relatif dans les parois de la fissure, s'étend au sol environnant. On ne saurait assez recommander aux observateurs de *mesurer* exactement tous les accidents dus aux tremblements de terre, au lieu de se laisser aller aux termes généraux d'*énorme!* de *prodigieux!* etc., lorsqu'il ne s'agit peut-être entre les deux côtés d'une fente que d'un changement de niveau relatif de quelques pieds. Nous espérons qu'en général on voudra bien s'abstenir dans les descriptions géologiques, de toute épithète de ce genre, qui ne saurait donner aucune idée définie de hauteur, de profondeur, ou de distance, et qui ne conduit qu'à des notions vagues et le plus souvent fort exagérées de choses qui seraient très-faciles à mesurer. Nous avons mesuré une fois *un abîme sans fond* avec une ligne de sonde de quatre-vingt-dix pieds environ, et nous avons eu beaucoup de peine, ailleurs, à reconnaître la moindre trace de dislocations qu'on nous signalait comme *énormes!*

i. On devra noter très-exactement la direction des fentes, ou des arêtes de soulèvement occasionnées par les tremblements de terre, et mesurer, s'il est possible, leur longueur et leur largeur. Il faudra vérifier aussi si elles suivent des lignes parallèles les unes aux autres, ou bien si elles rayonnent autour d'un point central; et, dans le cas du parallélisme des fentes, si la dislocation du sol ne serait point analogue à ce qui se voit dans la coupe imaginaire ci-jointe (fig. 69),

Fig. 69.



dans laquelle la surface d'une plaine, *a b*, a été disloquée en lignes parallèles, *c, d, e, f,* de manière qu'il en est résulté trois escarpements et autant de dépressions du sol. On devra mentionner tous les changements qui résulteront des effets d'un tremblement de terre dans la structure physique d'un pays, qu'il s'y soit produit des

collines, des vallons ou tout autre accident; et ne point oublier d'exprimer par des nombres, autant qu'il peut se faire, la grandeur de ces divers accidents. Ainsi, au lieu d'apprendre que le cours d'une rivière a été arrêté par un tremblement de terre, qu'il en est résulté un lac, et que la *rupture* de ce lac pourra creuser des vallées, etc., nous pourrons savoir si cette rivière a été barrée par l'éboulement des parois d'un ravin dans lequel elle coulait, ou bien si cet effet a eu lieu par suite d'un soulèvement perpendiculaire au cours de cette rivière, et nous aurons dans les deux cas la hauteur, la largeur et la composition minérale de cette digue naturelle. Lorsqu'il se produit des accumulations d'eau par suite du barrage des rivières, si on a une description *définie* de leur longueur, largeur et profondeur, et par conséquent le volume de la masse d'eau accumulée, on sera à même de juger de la manière dont les eaux pourront s'ouvrir un passage au travers de la digue qui les retient; et d'après la violence de ces eaux, déduite de chiffres positifs, on verra si l'on peut supposer que cette débâcle soit capable de creuser des vallées.

XII. *Élévation ou dépression lente du sol sur de grandes étendues, non accompagnée de tremblements de terre ou de mouvements brusques de l'écorce terrestre.* On a observé, depuis plus d'un siècle, qu'il s'opérait un changement de niveau relatif très-lent entre la surface de la mer Baltique et les côtes de la Suède; et M. de Buch a annoncé, depuis trente ans environ, que la surface de la Suède s'élevait lentement depuis Frédéricksball jusqu'à Abo, et que le même mouvement s'étendait probablement jusqu'en Russie. Ce phénomène important a été suivi depuis quelque temps avec toute l'attention qu'il méritait, et on a annoncé que le soulèvement était plus considérable vers le nord que vers le sud de la presqu'île de Scandinavie.

a. Lorsqu'on a lieu de soupçonner une élévation lente du sol, il faut apporter le plus grand soin dans les observations qu'on fera pour vérifier ce fait, et surtout il faut tenir compte des circonstances locales qui peuvent influer sur les apparences du phénomène. Il est évident qu'il faut d'abord commencer par établir et marquer convenablement sur des escarpements de rochers, ou sur d'autres surfaces également inaltérables, des points fixes qui indiquent la hauteur du niveau de la mer à une époque donnée quelconque. Ce n'est pas sans difficulté qu'on parvient à établir la ligne exacte de ce niveau, surtout dans les mers qui sont sujettes à la marée. En admettant même que l'effet des marées soit tel, qu'on puisse prendre sur une côte quelconque une moyenne entre leurs hauteurs extrêmes, il arrive bien rarement que ces hauteurs extrêmes ne soient plus ou moins modifiées par une différence momentanée dans la pression de l'atmo-

sphère, et par les vents qui peuvent souffler dans les environs et même à d'assez grandes distances de la localité qu'il s'agit d'étudier. Après qu'il a régné pendant quelque temps un fort vent soufflant du large, il arrive souvent que la haute mer se soutient dans les ports au delà du temps déterminé par les calculs astronomiques, et qu'elle atteint jusqu'à deux et même trois pieds au-dessus de la hauteur à laquelle elle serait arrivée, s'il n'avait pas soufflé un aussi fort vent de mer. Le contraire a lieu lorsque le vent souffle avec force de terre pendant quelque temps; et ce qui est vrai dans le premier cas pour la marée haute, l'est également pour la marée basse dans le second. Ces effets sont eux-mêmes modifiés par les positions du soleil et de la lune par rapport à la terre et au plan de l'équateur, au jour de l'observation.

Suivant le capitaine Denham, la moyenne entre la haute et la basse marée qui se suivent, donne constamment un même niveau dans la même localité. Il faudra donc que les observateurs prennent la hauteur moyenne entre les points extrêmes de la marée pendant un *calme* aussi *plat* que possible, et qu'ils notent cette hauteur moyenne dans les points les plus favorables des falaises. Si on parvenait à obtenir ainsi un niveau exact de la mer, on aurait une donnée positive pour vérifier, par la suite, les changements de niveau relatif qui pourront avoir lieu sur les côtes d'une mer sujette à la marée.

b. Dans les mers qui n'ont point de marée sensible, telles que la Baltique et la Méditerranée, il n'en faut pas moins prendre toutes les précautions relatives à l'état de la pression atmosphérique et à celui des vents, pendant l'observation; car on pourrait, en négligeant ces précautions, tomber dans des erreurs très-sérieuses. Il est bien reconnu qu'un fort vent de nord-ouest continué pendant quelque temps, soutient les eaux de la mer Baltique deux pieds au moins au-dessus de son niveau ordinaire; la mer Caspienne est de plusieurs pieds plus élevée à l'une de ses extrémités qu'à l'autre, suivant que le vent souffle avec force du Nord ou du Sud; et l'on sait également que la hauteur de la mer dans les ports de la Méditerranée, dépend en grande partie du vent qui souffle au moment de l'observation.

c. En signalant ainsi les sources d'erreur à éviter dans ces observations, nous ne voulons nullement jeter des doutes sur la probabilité des mouvements graduels d'élévation et de dépression qui ont lieu aujourd'hui sur différents points de la surface du globe. Nous croyons, au contraire, que ces mouvements sont beaucoup plus généraux qu'on ne l'a supposé jusqu'ici, et nous avons énoncé plusieurs fois l'opinion que ces mouvements graduels d'élévation ou de dépression de l'écorce solide du globe, sont nécessaires à l'explication d'un grand nombre

de phénomènes géologiques qui s'observent dans les terrains fossilifères de tous les âges[1]. Nous ne voulons qu'appeler l'attention sur les précautions à prendre, lorsque l'on a à examiner une localité donnée ou la côte de quelque continent, pour arriver d'abord à reconnaître d'une manière indubitable le mouvement soit d'élévation ou de dépression que subit cette localité; et, en second lieu, lorsque le mouvement est indubitablement prouvé, pour fixer sans erreur la quantité de mouvement que l'on croit avoir lieu actuellement, ou avoir eu lieu pendant un temps donné.

XIII. *Température de la Terre.* Nous comprendrons sous ce titre les diverses observations à faire sur la température des roches, etc., dans les mines; et sur la température des mers, des lacs, des puits artésiens et des sources. Nous nous abstiendrons d'insister sur une théorie plutôt que sur une autre, et nous laisserons l'observateur libre d'adopter celle qui lui paraîtra le mieux s'accorder avec les phénomènes qu'il aura lieu de constater.

a. Dans les observations de ce genre il est essentiel que les thermomètres que l'on emploie soient de la meilleure construction possible; au lieu d'être gradués, ainsi qu'on le fait ordinairement, en notant simplement sur le tube les points de la glace fondante et de l'eau bouillante à une hauteur donnée du baromètre, et divisant ensuite l'intervalle entre les points extrêmes en un certain nombre de parties égales, suivant l'échelle qu'on adopte, il faudra que la graduation du thermomètre qu'on voudra employer soit comparée sur un grand nombre de ses divisions avec des thermomètres-modèles, construits avec tout le soin requis. Dans des observations aussi délicates que le sont celles de cette nature, il faudrait tenir compte de l'âge même du thermomètre, car on a trouvé que dans les thermomètres à mercure le point de la glace fondante s'élève lentement après leur graduation; et comme cet effet a lieu principalement peu après que le tube a été fermé hermétiquement, il faudra laisser passer quelques mois après que le tube thermométrique aura été rempli et fermé, avant que de le graduer.

b. Il existe tant de sources d'erreur dans les observations que l'on fait sur la température de l'air et de l'eau dans les mines, lors même que les expériences sont faites par des personnes très-habiles, et avec toutes les précautions possibles, que l'on doit préférer des observations plus directes toutes les fois qu'elles seront praticables. Il est évident qu'il faudra avoir le plus grand soin d'éviter toute source

[1] Voyez le *Manuel géologique* et les *Recherches sur la partie théorique de la géologie.*

d'erreur, tant dans les instruments que dans la manière de les employer. M. Cordier, qui s'est beaucoup occupé de ce genre de recherches, a employé la méthode suivante pour prendre, dans diverses mines de charbon de terre de France, la température de la roche elle-même. Le thermomètre était enveloppé d'une manière lâche d'une feuille de papier de soie formant sept tours entiers; le rouleau était fermé au-dessous de la boule et lié par une ficelle un peu au-dessous de l'autre extrémité de l'instrument, en sorte qne l'on pût en sortir la portion du tube nécessaire pour observer l'échelle sans craindre le contact de l'air; le tout était contenu dans un étui de fer-blanc. On introduisait cet appareil dans un trou ayant 65 centimètres de profondeur et 4 centimètres de diamètre, incliné sous un angle de 10° à 15°; de telle sorte que l'air, une fois entré daus les cavités, ne pouvait s'y renouveler, parce qu'il devenait plus froid et par conséquent plus pesant que celui des galeries. Le thermomètre était maintenu, autant que possible, à la température de la roche, en le plongeant parmi des fragments de la roche fraîchement brisés, et en le tenant quelques instants à l'orifice du trou, dans lequel on le renfermait ensuite, en plaçant sur l'ouverture un fort bouchon de papier. On laissait en général le thermomètre dans cette position pendant une heure.[1]

On a fait aussi des observations en perçant un trou de la profondeur d'un mètre, ou de toute autre mesure qu'on pouvait juger convenable, dans la roche d'une mine, et en notant la température pendant une période donnée quelconque, telle qu'une année et plus. Les observations qui ont été faites jusqu'à ce jour sur la température des roches dans les mines, lors même qu'on tient compte des erreurs possibles dans les expériences sur l'air ou l'eau de ces mines, ont conduit à admettre uno augmentation de chaleur à mesure qu'on s'enfonce au-dessous du point auquel la température terrestre cesse d'être influencée par les changements de climat auxquels est exposée la surface de la terre au lieu de l'observation. Il est presque inutile de rappeler que l'on doit répéter les observations à diverses profondeurs, et dans des situations, autant que possible, à l'abri de l'influence de la chaleur produite par la présence des mineurs avec leurs lampes ou chandelles, par l'explosion des trous de mine, lorsqu'on exploite à la poudre, ou par un mélange accidentel de pyrites de fer, d'eau et de schistes argileux. Il est à désirer aussi que les expériences soient faites aussi loin que possible des filons métalliques eux-mêmes, qui

[1] *Essai sur la température de l'intérieur de la terre.* (Mém. de l'Acad., tom. 7.)

Digitized by Google

peuvent donner lieu à des sources d'erreur faciles à prévoir, et dans la partie la plus sèche des galeries de mines.

c. Les observations sur la température de la mer à diverses profondeurs, se font le plus souvent avec des thermomètres à *maxima* et *minima*, dans lesquels les tubes gradués sont placés horizontalement : un thermomètre à mercure y pousse un index au degré de température le plus élevé auquel l'instrument a été exposé dans la mer, tandis qu'un thermomètre à esprit de vin retire un autre index au point le plus froid; en sorte que l'observateur reconnaît les températures extrêmes auxquelles l'instrument a été exposé au-dessous de la surface de la mer. Il s'ensuit que l'on ne peut point faire avec cet instrument des observations sûres à de grandes profondeurs, à moins que l'on ne connaisse la température de la mer à différentes profondeurs intermédiaires, puisque le thermomètre a pu éprouver des changements à ces diverses profondeurs, et qu'il ne marque que les termes extrêmes de la température à laquelle il a été exposé. Il existe plusieurs autres instruments dont un observateur peut prendre connaissance chez les principaux fabricants d'instruments de physique; et qui sont combinés de manière à donner non-seulement la température de la mer à différentes hauteurs, mais encore à rapporter de l'eau de ces mêmes profondeurs.

Quelle que soit la nature de l'instrument que l'on emploiera, toutes les fois qu'au lieu de prendre la température d'une portion de l'eau qu'on aurait puisée à une profondeur donnée, on fait plonger un thermomètre dans la mer, il est indispensable que la matière de l'instrument que l'on emploie soit telle qu'elle puisse prendre facilement la température de la profondeur à laquelle on l'aura descendu, et que le thermomètre soit combiné de manière à noter la température qu'il y aura acquise; car la même matière qui prend rapidement la température des diverses profondeurs, sera tout aussi facilement affectée par les changements de température dans l'eau que l'instrument aura à parcourir pour revenir à la surface.

Dans le cas où l'on peut craindre que les observations soient rendues incertaines par les chocs de l'instrument contre le fond de la mer, il serait nécessaire que le plomb de la sonde fût disposé relativement au thermomètre de manière que, lorsque ce plomb aura touché le fond, on puisse soutenir l'instrument au-dessus de ce fond, en tendant la ligne de sonde de manière à éviter autant que possible les secousses occasionnées par les roulis du bâtiment ou du bateau dans lequel se trouve l'observateur, secousses qui pourraient déplacer l'index destiné à noter le maximum ou minimum de température. Nous avons souvent disposé la ligne, le thermomètre et le plomb de

Digitized by Google

la sonde ainsi qu'on l'a représenté dans la figure 70, et nous avons trouvé cette disposition très-utile dans la pratique : *a* figure la ligne qui descend du bâtiment ou du bateau; *b*, un point de cette ligne auquel on en a suspendu une seconde, *e*, qui supporte l'instrument *c*; la ligne principale *a* se continuant jusqu'au plomb *d*. On peut donner à la ligne *e*, qui supporte le thermomètre, telle longueur qu'on jugera convenable; et la ligne principale depuis le point *b* jusqu'au plomb *d*, aura dix, cent, ou tel autre nombre de pieds que l'observateur jugera convenable. Il est évident que lorsque la personne qui tient la ligne sent que le plomb *d* touche le fond, elle devra la retenir de manière que le thermomètre n'aille pas heurter le fond aussi. Si le plomb est armé de cire, ainsi que cela se pratique ordinairement, on pourra obtenir d'un seul coup la température de la mer à une profondeur donnée, la profondeur de la mer au lieu de l'observation, et la nature du fond.

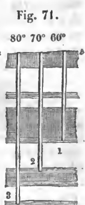
Fig. 70.

d. Les observations sur la température de la mer sont rendues de beaucoup plus simples par le fait, reconnu aujourd'hui, que l'eau de la mer atteint sa plus grande densité à la température à peu près à laquelle elle passe à l'état de glace; de sorte que sous les tropiques, et là où la température de la surface n'approche jamais de zéro, il y aura une diminution constante de température, à mesure que l'on descendra vers le fond, et la température la plus basse n'arrivera pas au point de congélation de l'eau de mer. Dans les régions les plus froides du globe, dans lesquelles l'eau de la surface de la mer est exposée à des températures qui, à quelques degrés de différence thermométrique, peuvent ou tenir cette eau à la surface ou la faire descendre, les variations de la température dans la profondeur seront telles qu'il faudra, de la part de l'observateur, un soin tout particulier pour les observer.

e. La température des lacs d'eau douce peut s'obtenir de la même manière et à l'aide des mêmes instruments que ceux dont on se sert à la mer. Les observations sont simplifiées par le fait que l'eau douce atteint sa plus grande densité à une température qui est entre 3°,89 et 4°,44 centigrades, et que, par conséquent, toute l'eau douce dont la température sera supérieure ou inférieure, flottera au-dessus de celle qui a la température correspondante au maximum de densité. L'observateur devra chercher à connaître quelle est dans les lacs la profondeur jusqu'à laquelle les variations de température de la surface se font ressentir, et au-dessous de laquelle la température, dans les circonstances ordinaires, reste invariable pendant toute l'année.

f. On a reconnu en général que la température de l'eau qui jaillit à la surface du sol dans les puits artésiens, augmente avec la profondeur de laquelle elle provient. Si cette eau se tenait en repos, les molécules se disposeraient dans les tuyaux suivant leur pesanteur spécifique relative, c'est-à-dire suivant leur densité, les molécules les plus chaudes étant les plus élevées, dans la supposition que toute la colonne d'eau ait une température supérieure à 4°,44 centigrades. En conséquence, la température observée à la surface dépendrait de la température originaire de l'eau intérieure, et si l'on trouve à l'orifice des puits les plus profonds de l'eau comparativement chaude, lors même que l'eau ne jaillit point à la surface, ce sera une preuve que la température originaire de l'eau des puits artésiens est d'autant plus élevée que le puits est plus profond. Supposons que 1, 2, 3 (fig. 71), sont trois puits artésiens de diverse profondeur, forés verticalement au-dessous de la surface du sol *a b* : si un observateur trouve que les températures de l'eau à la surface des puits, même dans le cas où cette eau ne jaillit point au-dessus de la surface *ab*, sont, par exemple, de 60°, 70° et 80°, il aura la preuve que la température de l'eau dépend, toutes choses égales d'ailleurs, de la profondeur de laquelle elle provient; lors même que l'on trouverait dans les trois puits des températures plus égales à quelque distance au-dessous de la surface du sol.

Fig. 71.



Les eaux des puits artésiens, cependant, jaillissent en général à la surface du sol dans lequel ces puits sont forés, et c'est même cette circonstance qui les rend si précieux. La force avec laquelle l'eau jaillit, est telle ordinairement, que les molécules ne peuvent point s'en disposer dans le tuyau suivant leur pesanteur spécifique relative; de sorte que lorsque l'eau atteint l'orifice du puits (après surtout qu'elle a coulé pendant quelque temps, et que le tuyau a pu lui-même prendre la température de l'eau), elle aura à peu près la même température que celle de la nappe intérieure de laquelle elle provient. On peut se faire une idée de la force avec laquelle l'eau jaillit dans certains puits artésiens, lorsqu'on songe qu'à Tours, dans un puits foré jusqu'à la profondeur de quatre-vingt-huit pieds au-dessous du niveau de la Loire, l'eau s'élève de treize à seize pieds au-dessus de la surface du sol, et jaillit avec une telle force, qu'un cylindre de fer-blanc, contenant vingt-deux boulets de huit livres, qu'on avait introduit dans le tuyau, en a été

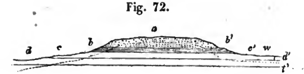
chassé par la violence de l'eau. Dans ce cas, on n'aura guère à craindre de se tromper en considérant l'eau de la surface comme ayant la même température qu'elle avait à quatre-vingts pieds de profondeur.

Il pourrait se faire cependant que les eaux de quelques puits artésiens fussent thermales et qu'elles provinssent d'une nappe contenue à l'intérieur par l'accumulation graduelle des couches, dont le forage donnerait lieu au jaillissement d'une partie de l'eau de la nappe intérieure. Nous mentionnons cette possibilité pour expliquer le cas où l'on reconnaîtrait que la température de quelques puits artésiens, qui fournissent une grande quantité d'eau dans un temps donné, augmente peu à peu avec le temps, ce qui devrait arriver à mesure que les eaux thermales auraient une communication plus facile avec la surface. Si des eaux thermales s'élèvent, sur un point quelconque, jusqu'à une hauteur inférieure de beaucoup à la surface du sol, et qu'elles y forment une nappe intercalée entre les couches solides, il est évident que ces eaux auraient bientôt acquis la température des couches voisines; et par suite, si ces eaux viennent à jaillir à la surface après qu'on aura percé les couches supérieures, elles y arriveront avec la température qu'ont les roches à une profondeur connue.

g. On admet en général que l'eau des sources sous les tropiques est à une température inférieure à la température moyenne du lieu, tandis que les sources des pays froids auraient une température supérieure à la moyenne du climat; il devient donc très-important de vérifier avec précision la température des sources, afin de reconnaître si c'est là réellement un fait général. S'il en est ainsi, il en résultera qu'il existe au-dessous de la surface du globe une cause quelconque, qui distribue, à une certaine profondeur, une chaleur plus uniforme que celle qui résulterait simplement de l'influence des rayons solaires. Comme des observations de ce genre exigent la plus grande exactitude, il faudra prendre toutes les précautions nécessaires, afin de reconnaître toutes les sources d'erreur qui pourront se présenter.

On devra d'abord vérifier, s'il est possible, les circonstances auxquelles une source doit son existence. Il arrive assez souvent que des sources se présentent d'une manière qui approche plus ou moins de ce qui se voit dans la coupe suivante (fig. 72). Soit *a* une couche poreuse, un grès peu cohérent, par exemple, qui repose sur une couche *bb'*, presque imperméable à l'eau, telle que serait l'argile; l'eau de pluie qui tombe à la sommité de la colline sera absorbée en grande partie par la roche poreuse *a*, mais son in-

Fig. 72.



filtration sera arrêtée par l'argile ou toute autre couche imperméable *bb'*, de manière qu'elle devra se répandre à la surface de cette couche et former des sources sur les flancs de la colline au niveau *bb'*. Supposons maintenant qu'une autre couche poreuse *cc'* se trouve au-dessous de *bb'*, et que cette seconde couche poreuse soit supportée à son tour par une couche *dd'*, presque imperméable à l'eau; alors l'eau qui tombe sur les parties exposées à l'air de la couche *cc'*, sera absorbée d'abord, puis elle formera des sources sur les flancs de la colline en *c*, mais non en *c'*; car la couche imperméable *dd'* ne vient point à la surface du sol dans cette direction. Mais si l'on perce un puits *w* de ce côté de la colline, on trouvera à la surface de la couche *dd'* la même eau qui jaillit du côté opposé au même niveau. Dans ces cas, l'eau est d'abord à la température qu'elle a prise dans l'atmosphère; mais à mesure qu'elle filtre à travers les roches qui l'absorbent, elle prend la température de ces roches. Or, si la température des roches varie suivant leur profondeur au-dessous de la surface du sol, il devra y avoir, à une certaine profondeur, une courbe de température uniforme, représentée par la ligne pointillée *tt'*, parallèle à la surface *dcbab'c'w*; par conséquent, si l'eau filtre lentement à travers les roches pour sortir à la surface sous forme de sources, elle prendra probablement, toute chose égale d'ailleurs, la température qu'ont les roches entre la ligne *tt'* et la surface du sol; tandis que si l'eau coule plus rapidement, elle pourra conserver une partie de la température des profondeurs inférieures à la ligne *tt'*, proportionnée au volume et à la vitesse avec laquelle elle jaillit à la surface. Il est donc important de vérifier avec soin la quantité d'eau qu'une source fournit dans un temps donné et la vitesse avec laquelle elle jaillit.

Il est d'autres sources qui ne peuvent évidemment point rentrer dans le cas de la figure 72; ce sont celles qui sourdent à travers ces dislocations du sol auxquelles on donne le nom de *failles*, et qui sont représentées dans les coupes ci-jointes (fig. 73 et 74), dans lesquelles *fh* représente une dislocation de couches presque horizontales, et *cd* une autre dislocation de couches tourmentées.

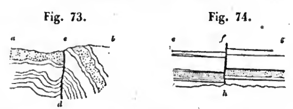


Fig. 73. Fig. 74.

Dans des cas semblables on ne peut être assuré que l'eau qui s'élève à la surface du sol *ab* et *eg*, à travers les fentes *dc* et *hf*, ne provienne point de grandes profondeurs, et qu'elle ne jaillisse point avec la température qu'elle avait dans ces grandes profondeurs, modifiée par les divers changements qu'elle peut subir en s'élevant à la surface; changements qui dépendent, ainsi que nous l'avons dit, de la vitesse et du volume qu'elles ont dans leur mouvement ascensionnel. Il est d'autant plus nécessaire, dans ces cas, d'apporter le plus grand soin dans les observations, que les sources chaudes ou thermales paraissent ordinairement venir à la surface à travers des fissures, auquel cas leur température doit être nécessairement modifiée par des circonstances faciles à imaginer.

Dans les montagnes calcaires les sources ont fréquemment une grande force; il est des cas où l'on pourrait les appeler de petites rivières. Ces phénomènes sont dus à la structure caverneuse du terrain de ces pays, et à la facilité qu'ont les eaux de pluie de s'y engouffrer dans des cavités qui communiquent avec la surface; quelquefois aussi aux grands bouleversements qu'ont éprouvés les couches de ces contrées. Les faits de ce genre sont très-remarquables dans la partie de la Jamaïque dont le sol est composé d'un calcaire blanc compacte. Malgré les grandes averses des pluies tropicales, l'eau en est absorbée immédiatement, presque en totalité, par des cavités sans nombre, qui se réunissent dans des canaux souterrains, de sorte qu'on trouve à peine une source proprement dite sur des étendues fort considérables, tandis que de petites rivières se font jour çà et là à travers le terrain. On ne pourrait juger de la température de la terre à la profondeur relativement peu considérable, où le climat cesse d'avoir une influence, par la température de ces rivières des pays calcaires, qu'autant qu'il serait démontré que l'eau en est restée en contact avec les roches à température constante, assez de temps pour prendre elle-même cette température.

Il est donc très-important pour l'observateur de bien considérer les conditions sous lesquelles les sources viennent à la surface, et de joindre à la note qu'il prendra de la température de ces sources,

toutes les notions qu'il pourra se procurer sur ces conditions. De cette manière on peut espérer d'avoir finalement diverses séries de faits bien reconnus, et être, par conséquent, à même de juger non-seulement de la valeur relative de chacune des séries, mais encore de celle de l'ensemble général des faits. Nous mettrons encore l'observateur en garde contre une circonstance que nous avons trouvée fort importante dans la pratique. Lorsqu'on veut prendre la température d'une source, il faut enlever les terrains meubles, pour approcher autant que possible du point où l'eau sort des roches en place. Sans cette précaution on peut facilement commettre des erreurs de deux ou trois degrés; et c'est surtout dans les sources thermales qu'elle est nécessaire, particulièrement lorsque le volume d'eau n'en est pas fort considérable. Il faudra chercher à introduire le thermomètre dans la fissure même de laquelle sort l'eau; et si l'observateur peut disposer d'un de ces thermomètres dont la boule et une partie du tube font saillie au-dessous de l'échelle graduée, son observation en sera plus exacte encore.

XIV. *Émanations gazeuses.* On trouve des émanations gazeuses dans diverses régions que l'on ne pourrait point à la rigueur appeler volcaniques; il se produit même de ces émanations sur des points fort éloignés de toute trace d'action volcanique, ancienne ou moderne. Ces émanations sont des preuves d'une action chimique qui s'exerce au-dessous de la surface immédiate de la terre, et il en devient très-important d'observer avec exactitude la nature des émanations et les conditions apparentes de leur existence.

a. Lorsque des jets de gaz s'échappent dans l'atmosphère, l'observateur devra recueillir soigneusement une partie de ce gaz de la manière que nous avons indiquée pour les gaz et les vapeurs qui se dégagent dans les volcans. Si les circonstances le lui permettent, il devra reconnaître la structure générale du pays environnant, afin de voir si l'on peut y trouver quelque indice de la cause de l'émanation qu'il veut étudier. Si, par exemple, le gaz qui se dégage était de l'hydrogène carboné, et si le pays environnant contenait des couches de houille, on ne s'éloignerait probablement pas de la vérité en admettant que ce gaz provient des couches de ce combustible. On a remarqué que le gaz inflammable se dégage souvent à la proximité de sources salées, et l'observateur devra porter son attention aussi sur cette circonstance. Les *salses* ou *volcans de boue,* ainsi qu'on les appelle, paraissent résulter d'une action chimique pendant laquelle il se fait un grand dégagement de gaz. Il faudra examiner toutes les circonstances de ce phénomène, et en recueillir avec un soin tout particulier les produits gazeux.

Digitized by Google

b. Il se dégage souvent de certaines eaux des bulles de gaz ; dans ce cas, un observateur devra prendre une bouteille comme celles destinées à recueillir les gaz volcaniques, la remplir d'eau, puis la renverser et en tenir l'orifice sous l'eau de laquelle s'échappent les bulles de gaz, de manière à recueillir ces bulles avant qu'elles soient en contact avec l'atmosphère. On peut rouler une feuille de papier en forme d'entonnoir pour recueillir plus facilement les gaz. On devra ensuite boucher et cacheter la bouteille ainsi qu'il a été recommandé à propos des gaz volcaniques.

c. On peut rappeler ici que, lorsqu'on recueille des eaux minérales ou thermales, qui souvent contiennent des substances gazeuses, il faudrait recueillir autant que possible de ces substances. Au lieu de former des bulles, les gaz s'échappent quelquefois d'une manière presque imperceptible ; dans ce cas, une simple bouteille servirait à peu de chose. Il faudrait se procurer un récipient à large ouverture, qui pût présenter une grande surface aux gaz qui se dégagent. L'orifice de ce récipient renversé devrait être maintenu sous l'eau jusqu'à ce que l'eau que le récipient contenait avant qu'on le renversât soit presque entièrement remplacée par le gaz, et alors on pourra avec quelque dextérité transvaser ce gaz dans une bouteille ordinaire, qu'on aura remplie d'eau, et dans laquelle on fera passer le gaz, sous l'eau, bulle par bulle. De cette manière un observateur pourra recueillir une grande quantité de gaz sans même avoir d'appareil spécial à sa portée. Il serait particulièrement à désirer que l'on reconnût s'il se dégage toujours de l'azote dans les sources thermales. Lors même que les circonstances ne permettent que l'examen rapide d'une source thermale ou minérale, on peut souvent se procurer les gaz contenus dans l'eau de cette source, si l'on en remplit une bouteille en évitant toute agitation de l'eau. On devrait remplir la bouteille aussi exactement que possible, et la fermer et cacheter ainsi qu'il a été indiqué.

XV. *Forêts sous-marines.* On trouve sur plusieurs points des côtes de la Grande-Bretagne, du nord de la France et de l'Allemagne, et à des niveaux inférieurs à celui des hautes marées, des accumulations d'arbres, d'espèces analogues aux vivantes, qui s'étendent au large sous la mer, et qui ne sont à découvert que pendant les marées basses. On a donné à ces accumulations de végétaux le nom de *Forêts sous-marines.*

a. Il est des géologues qui croient que l'on ne peut expliquer le phénomène des forêts sous-marines que par un changement de niveau relatif dans ces localités entre la mer et les côtes, tandis que d'autres supposent que les arbres, etc., peuvent avoir vécu et s'être accu-

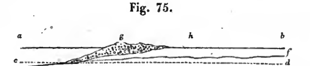
Digitized by Google

mulés à des niveaux plus bas que celui de la haute mer, dont ils auraient été séparés par une plage formant une sorte de digue. Il faut donc que l'observateur apporte le plus grand soin dans l'examen de toutes les circonstances qui accompagnent ce phénomène, s'il veut espérer pouvoir en reconnaître l'origine.

Il devra, en premier lieu, prendre le niveau exact de la localité qu'il veut étudier, et voir à quelle profondeur au-dessous de la haute mer, et même quelquefois de la basse mer, se trouve le sol de la forêt sous-marine. Puis il cherchera à vérifier s'il existe des faits qui prouvent qu'une portion quelconque de cette forêt ait crû à la place même qu'elle occupe aujourd'hui. Il est des cas où une telle circonstance est difficile à reconnaître; mais ailleurs on trouve les racines fortement implantées dans le sol, et l'ensemble de l'accumulation est tel que l'on ne peut douter que les branches des arbres, les feuilles, etc., ne se soient amassées autour des racines. Nous supposons ici que ces arbres sont indubitablement des mêmes espèces qui croissent maintenant dans la contrée; mais l'observateur se rappellera que les mêmes effets peuvent s'être produits à des époques géologiques antérieures à l'actuelle.

b. Il restera ensuite à examiner la position générale de la forêt sous-marine; savoir, si elle se trouve au débouché d'une vallée, en avant d'une grande plaine basse, ou si elle est autrement située. Supposons, pour un moment, que la figure 75 représente la coupe

Fig. 75.



d'une de ces forêts perpendiculairement à la côte; *ab* étant le niveau de la mer à la marée haute; *cd* celui de la marée basse; *ef* le sol de la forêt sous-marine; *g* une plage accumulée par l'action des brisants; et *h* du sable ou de la vase qui recouvre l'assise *ef*. Dans ce cas la forêt ne sera visible que sur la côte et pendant la basse mer, et l'observateur ne pourrait reconnaître son existence dans l'intérieur que par des tranchées naturelles ou artificielles qui traverseraient le sable ou la vase *h*. Si dans un tel état de choses les racines sont implantées dans le sol sur lequel les arbres ont vécu, et cela non-seulement en avant de la plage *g*, mais encore en arrière de cette plage vers l'intérieur des terres, de sorte que la plage elle-même repose sur le prolongement de la forêt, il est évident que la

plage *g* doit avoir été accumulée après la croissance de la forêt, et que si une autre plage au delà du point *e* protégeait jadis cette forêt contre la mer, cette dernière plage a totalement disparu. L'observateur examinera si la plage *g* repose au-dessus du sable et de la vase *h*; car, s'il en était ainsi, la plage *g* serait plus récente que *h*; puis il reconnaîtra si ce sable ou cette vase ont été déposés par l'effet d'une digue qui aurait arrêté les caux douces coulant vers la mer, ou bien s'ils résultent d'un dépôt de détritus qui auraient été tenus en suspension dans la mer. Il est souvent difficile de reconnaître l'origine d'un dépôt situé comme celui *h*, à moins qu'on n'y trouve des restes organiques dont la nature marine ou d'eau douce déciderait la question. Dans la coupe de la figure 75, qui est assez fréquente dans la nature, la suite des événements serait la suivante. 1.° On aurait eu un sol situé de manière à ce qu'il pût y croître des chênes, des ifs, des sapins, etc., mêlés quelquefois à des plantes de marais. 2.° Ces arbres auraient vécu pendant un temps considérable, et quelques-uns d'entre eux auraient atteint de grandes dimensions. 3.° Il se serait fait un changement de circonstances, à la suite duquel il se serait accumulé une couche de sable et de vase sur des troncs d'arbres brisés, etc. 4.° A la suite d'un autre changement la mer aurait attaqué une partie de l'accumulation de végétaux et l'aurait mise à découvert au-dessous du niveau de la haute mer, après avoir enlevé les sables et la vase qui la recouvraient, et accumulé une plage qui, dans les circonstances ordinaires, empêche tout autre envahissement de la mer sur cette partie de la forêt qui est recouverte encore par les sables et la vase.

c. Il est important d'avoir des observations exactes sur les matériaux, tels que les graviers, les sables, etc., qui sont accumulés au-dessus de la partie des forêts sous-marines située vers l'intérieur des terres. On arrive quelquefois à conclure, d'après de telles observations, qu'il y a eu plus d'un changement relatif de niveau entre la terre et la mer avant que la forêt sous-marine se présentât sous son aspect actuel. On peut même reconnaître quelquefois deux accumulations différentes de végétaux, séparées l'une de l'autre par de l'argile, du sable ou des graviers. L'observateur devra s'attacher à reconnaître si les arbres d'une forêt sous-marine sont disposés de manière à faire croire qu'il y a eu là un envahissement soudain de la mer, ou bien si l'état actuel de ces arbres ne porterait pas plutôt à croire que les causes, quelles qu'elles soient, qui ont donné lieu à l'envahissement de ces forêts, ont agi d'une manière plus lente.

XVI. *Plages soulevées.* Nous avons dit plus haut que les côtes de

la mer ont été quelquefois soulevées par des tremblements de terre; il peut y en avoir aussi qui aient été élevées sans secousse sensible par un soulèvement général du sol longtemps continué. Il est des côtes sur lesquelles on voit d'anciennes plages élevées au-dessus des points que les vagues peuvent atteindre aujourd'hui, et cela dans des contrées dans lesquelles il ne paraît s'exercer aucune action volcanique.

a. Les plages ainsi soulevées au-dessus du niveau de la mer actuelle peuvent être de divers âges, géologiquement parlant, quoique probablement aucune n'appartienne à des époques géologiques fort anciennes; l'observateur devra donc recueillir avec soin tous les débris organiques qu'il pourra rencontrer parmi les galets et les sables de ces plages; les coquilles, même brisées, pour peu que leurs caractères ne soient pas entièrement effacés, sont importantes à conserver. Si la plage soulevée que l'on observe se trouve sur la côte d'une mer dont les mollusques et autres animaux soient peu connus, on devra en recueillir autant que les circonstances le permettront, afin de pouvoir les comparer avec ceux dont on trouve les débris dans la plage soulevée, et qui quelquefois y sont tellement abondants que la plage entière ne paraît presque composée que de coquilles brisées.

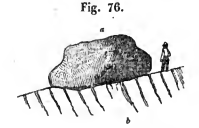
b. Lorsqu'un observateur rencontre une ancienne plage soulevée, il devra la comparer avec celle qui existe maintenant au bord de la mer, afin de reconnaître les ressemblances et les différences de leurs caractères. Si l'une et l'autre sont composées des mêmes galets et sables, et si elles contiennent les mêmes débris organiques, etc., il faut que les circonstances générales de la côte aient été les mêmes pendant la production des deux plages. Si les matériaux diffèrent d'une plage à l'autre, les circonstances doivent avoir varié, et les phénomènes observés pourront donner lieu à des conclusions qui seront en rapport avec la grandeur et la nature de cette différence.

XVII. *Blocs et graviers erratiques.* Les blocs erratiques sont des fragments volumineux de roches que l'on rencontre à des distances plus ou moins considérables des masses dont ils ont jadis évidemment fait partie. Les graviers erratiques sont formés de débris moins volumineux des mêmes roches transportés de même à diverses distances. Nous renverrons le lecteur aux traités de géologie pour ce qui concerne les conclusions théoriques que l'on a tirées de cet ordre de phénomènes; nous ne ferons ici que diriger l'attention de l'observateur sur les différents faits relatifs à ces mêmes phénomènes qu'il peut avoir l'occasion d'examiner.

a. Il arrive souvent que des blocs de roches, de granite surtout,

restent en saillie à la surface du sol, après que les portions de la roche environnante ont été entraînées par les actions atmosphériques auxquelles les blocs restants ont mieux résisté ; l'observateur devra donc s'assurer que le sol sur lequel reposent les blocs que l'on croit erratiques est d'une nature différente que celle de ces blocs. Si le bloc *a* (fig. 76) est du granite, tandis que les couches *b* sont cal-

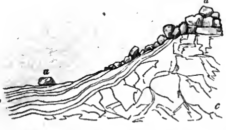
Fig. 76.



caires, il sera prouvé que le bloc *a* ne fait point partie du terrain qui le supporte, et *il se pourra* que ce bloc soit erratique. Il devra s'assurer ensuite que le bloc qu'il a sous les yeux n'est point descendu à la place qu'il occupe par les effets combinés de la désagrégation, de la pesanteur et des pluies, comme le bloc *a* (fig. 77),



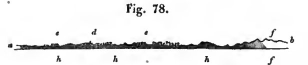
Fig. 77.



qui est tombé de la hauteur voisine *d*, composée de gros blocs de la roche *c*, qui les supporte ; de sorte que le bloc *a*, quoique reposant sur un terrain *b* d'une nature différente, n'est point erratique, suivant le sens que les géologues donnent ordinairement à cette expression. Mais si l'observateur trouve, comme dans la coupe suivante (fig. 78), dans laquelle nous supposerons que la distance horizontale *ab* soit de vingt milles, des blocs de granite dispersés dans diverses positions *c*, *d*, *e*, sur un terrain *h* qui n'est point gra-

Digitized by Google

Fig. 78.



nitique, alors on ne pourra point admettre pour ces blocs une origine analogue à celle de la figure 77, et l'observateur aura réellement sous les yeux des blocs erratiques. Dans la figure 78 nous avons supposé qu'il se trouvait en place, en *f*, un granite semblable à celui des blocs erratiques *c*, *d*, *e*; en sorte qu'on peut en conclure que ces blocs proviennent du point *f*, d'où ils ont été enlevés par une force de transport quelconque.

b. Nous avons supposé (fig. 78) que les blocs erratiques étaient de granite; mais il ne faut point supposer que tous les blocs erratiques soient composés nécessairement de roches cristallines. Tout fragment d'une roche quelconque qui repose sur un terrain d'une nature différente que la sienne et qui n'est point tombé des hauteurs voisines par les effets combinés de la désagrégation, de la pesanteur et de la pluie, est un bloc erratique. Il est évidemment essentiel d'étudier la composition exacte de tout bloc erratique que l'on pourra rencontrer, afin de pouvoir reconnaître le lieu de son origine, c'est-à-dire celui où la même roche se trouve en place. Lorsque des blocs de nature diverse sont entassés pêle-mêle, l'observateur devra examiner les proportions relatives des blocs de chaque espèce, de sorte qu'il puisse, en remontant vers le lieu d'origine des différents blocs, apprécier exactement la direction et la force de l'action qui a réuni ces divers blocs en une seule accumulation.

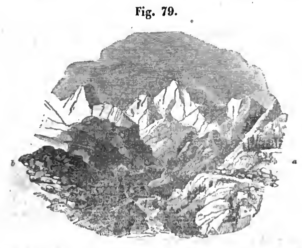
c. Il est difficile de concevoir que les blocs erratiques aient été transportés dans leurs positions actuelles par une action autre que celle d'une grande masse d'eau en mouvement; on devrait donc s'attendre à ce que les blocs soient d'autant plus arrondis qu'ils proviendront de plus grandes distances, si l'on admet qu'ils aient été roulés en masse et frottés violemment les uns contre les autres. Que s'ils ont été transportés sur des glaçons flottants détachés des grands glaciers, il est évident que les blocs erratiques auront pu parcourir des distances considérables sans offrir d'autres marques de frottement que celles de leur chute sur le glacier, ou de leur échouement à la place qu'ils occupent aujourd'hui. Il importe donc de bien examiner si les blocs erratiques sont arrondis ou s'ils conservent leurs angles; le volume et le poids des blocs sont aussi fort importants à constater, afin d'avoir des données exactes pour pou-

Digitized by Google

voir calculer la force qui a été nécessaire pour leur transport. Lorsqu'un observateur voudra prendre les dimensions ou le volume d'un bloc, il devra naturellement tenir compte des inégalités de sa surface et des parties qui pourront en être enfouies dans le sol. Pour en connaître le poids, il devra en détacher des échantillons qui représentent bien la structure générale de la roche, et vérifier quelle est la pesanteur spécifique de ces échantillons; après quoi il sera facile de calculer le poids du bloc erratique dont on connaîtra le volume.[1]

d. On a reconnu que les blocs erratiques dispersés des deux côtés des Alpes diminuent de volume et sont d'autant plus arrondis qu'ils sont plus éloignés de la chaîne centrale de laquelle ils proviennent; si donc un observateur trouve des blocs erratiques au pied d'une chaîne de montagnes d'un pays quelconque, il devra examiner s'ils se présentent avec les mêmes circonstances que dans les Alpes. Il ne devra pas négliger non plus de vérifier si ces blocs forment quelquefois, comme dans les Alpes, des traînées sur les flancs des montagnes, à une certaine hauteur au-dessus du fond de la vallée, le long de laquelle ils ont été évidemment transportés. En supposant que l'esquisse ci-jointe (fig. 79) représente une des grandes vallées

Fig. 79.



[1] Supposons qu'un observateur trouve que la pesanteur spécifique d'une roche est de 2,66, un décimètre cube d'eau distillée pesant un kilogramme, on aura 2 kilogrammes 66 pour le poids d'un décimètre cube de la roche; et connaissant le poids d'un décimètre cube, on pourra avoir facilement le poids d'un nombre quelconque de mètres cubes.

principales des Alpes, il arrive quelquefois qu'on trouve une traînée de blocs erratiques en *a*, tandis qu'il s'en trouve des accumulations derrière des élévations qui barrent pour ainsi dire la direction générale de la vallée, comme le monticule *b*, là où l'on peut supposer qu'il a dû se produire un remous, si une masse d'eau considérable est descendue brusquement le long de la vallée. L'observateur devra examiner aussi s'il existe quelque élévation qui ait pu faire obstacle à la masse d'eau descendant de la vallée lors de la débâcle, et voir s'il s'est accumulé des blocs erratiques sur la pente de ces élévations, et dans ce cas, si les blocs de toutes dimensions s'y trouvent assemblés pêle-mêle avec des graviers.

e. L'observateur devra essayer de reconnaître dans les pays de plaine couverts de blocs erratiques, la marche qu'ont suivie les blocs de différente nature. Il y parviendra jusqu'à un certain point en adoptant une couleur particulière pour les diverses roches dont ces blocs sont composés, et en notant sur une carte les différents points où il rencontre des blocs avec la couleur correspondante. On aurait des données fort importantes sur l'origine des blocs, si les diverses accumulations et traînées, qui se rencontrent en si grande abondance dans le nord de l'Europe et de l'Amérique, avaient été ainsi distinguées même approximativement sur les cartes. On trouverait, en procédant ainsi, des blocs d'une certaine couleur répandus à peu de distance des roches en place desquelles ils proviennent, tandis que des blocs de couleur différente s'étendraient à de très-grandes distances. Les lignes suivies par les blocs des différentes couleurs, quoique souvent irrégulières en petit, s'aligneraient, vues en grand, suivant une direction donnée, tandis que les blocs moins éloignés de leur place d'origine paraîtraient avoir suivi des lignes variées.

f. Il est essentiel de noter l'âge relatif du terrain sur lequel reposent les blocs erratiques, si l'observateur est assez au courant de la géologie pour reconnaître cet âge : dans le cas contraire il devra en recueillir des échantillons, examiner si le terrain contient des fossiles, et alors en ramasser en aussi grande quantité que possible; observer si les couches sont horizontales ou non, au cas que le terrain soit stratifié, et par-dessus toute chose l'observateur devra examiner s'il reste des preuves qui indiquent que les blocs aient jadis été enveloppés dans des sables, des marnes ou des argiles qui, ayant été enlevées par quelque dégradation postérieure, auront laissé les blocs isolés à la surface du sol. On admet que les blocs erratiques sont en général répandus à la surface du sol, et qu'ils n'ont jamais été recouverts par aucune matière de sédiment formant sur de grandes surfaces des couches étendues, auxquelles on aurait

assigné un rang quelconque dans l'échelle géologique. Il est donc très-important de noter tout ce qui pourra avoir rapport à cette disposition superficielle des blocs erratiques.

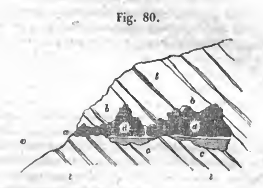
g. Les observations à faire sur les graviers erratiques ont la plus grande analogie avec celles qui précèdent. Il faut déterminer avec beaucoup de soins la nature des cailloux qui composent les diverses masses de graviers qui recouvrent des surfaces plus ou moins étendues. Il est évidemment de la plus haute importance de bien apprécier les causes qui peuvent les avoir transportés, soit qu'ils aient été détachés peu à peu de leur roche originaire et transportés par les cours d'eau actuels, soit qu'il faille remonter à l'action plus générale d'une grande masse d'eau qui aurait passé à la surface de la contrée. Lorsque les accumulations de graviers sont composées exclusivement de cailloux qui peuvent avoir été charriés le long de la vallée dans laquelle on les trouve aujourd'hui, il faut examiner le volume, la forme et le poids des cailloux, et après avoir calculé la force de transport des eaux actuelles, juger si l'action de ces eaux a pu suffire à transporter les graviers le long de la vallée, bien entendu qu'il faudrait tenir compte de la pente du lit de la rivière et de l'action des crues d'eaux qui peuvent avoir eu lieu depuis l'existence de l'ordre de choses actuel. Il faudrait voir aussi si les agglomérations de cailloux ne seraient point, comme ceux de la plaine de la Crau, la fin d'un grand transport de blocs erratiques. Dans certaines localités des assises de graviers de diverse nature reposent les unes sur les autres, les unes ayant été formées par l'action journalière des rivières, les autres étant dues probablement au passage d'une grande masse d'eau extraordinaire ; c'est là un point qui exige la plus scrupuleuse attention de la part de l'observateur. Il peut arriver encore que des assises de graviers, qui paraissent superficielles sur un point, soient en réalité inférieures à des couches sous lesquelles elles plongeraient à quelque distance ; et qu'elles résultent de l'action de l'atmosphère sur une couche de conglomérats dont elle aurait enlevé le ciment et laissé les cailloux en place ; l'observateur devra se tenir en garde aussi contre cette fausse apparence de graviers erratiques.

XVIII. *Cavernes à ossements et brèches osseuses.* On donne le nom de *cavernes à ossements* à des cavernes dans lesquelles on rencontre des ossements de différents animaux, tels que des ours, des hyènes, des éléphants, etc., enveloppés souvent dans de la vase ou d'autres substances détritiques, et cachés ainsi aux observations ordinaires. Les brèches osseuses sont le plus souvent des fissures du terrain qui ont été remplies d'ossements, de fragments de roches et d'un ciment

terreux ou compacte. Elles communiquent souvent avec les cavernes à ossements.

a. L'observateur qui visite une caverne peut en sortir sans soupçonner le moins du monde qu'il s'y trouve des ossements, tandis que cette caverne en contient réellement une grande abondance. Un grand nombre des cavernes d'Angleterre qui ont fourni des ossements et des dents de centaines d'espèces de mammifères, lorsqu'elles ont été examinées convenablement, avaient été visitées de temps immémorial par des personnes qui n'y avaient jamais vu la moindre trace d'un corps organisé quelconque. Les cavernes sont beaucoup plus fréquentes dans les terrains calcaires que dans tout autre; il s'ensuit que dans celles qui contiennent des ossements, ces débris sont cachés sous des masses de matières stalactitiques et stalagmitiques. Les cavernes à ossements varient dans leurs détails; mais la figure suivante (fig. 80) peut donner une idée assez exacte de la

Fig. 80.



disposition générale qu'elles présentent habituellement. *lll* représente la coupe d'une colline calcaire dans laquelle existe une caverne *bb*, qui présente une ouverture *a* vers une vallée *v*. Supposons que *dd* soit une incrustation de stalagmite (dépôt de la matière calcaire entraînée en solution par l'eau qui tombe de la voûte sur le sol de la caverne) recouvrant des cavités *cc* dans lesquelles sont accumulés des débris d'animaux, mêlés avec de la vase, du sable ou du gravier. Il est évident qu'un observateur peut aller et venir dans une telle caverne, passant au-dessus des stalagmites *dd* sans se douter des richesses zoologiques qui existent au-dessous.

b. Dans certaines cavernes à ossements il s'est déposé des matières stalagmitiques avant qu'il ne s'y accumulât de la vase ou du sable, et les ossements sont souvent alors implantés dans le calcaire

Digitized by Google

auquel ils adhèrent; dans ce cas ils doivent avoir été enveloppés par le carbonate de chaux à mesure qu'il s'en déposait. Dans d'autres cavernes, la vase, le sable ou le gravier, dans lesquels se trouvent les ossements, n'ont jamais été recouverts par des stalagmites. Il y a de grandes variations sous ce rapport, ainsi qu'il a dû arriver par suite des différences dans les circonstances locales, et de la manière dont les ossements ont été introduits dans la caverne.

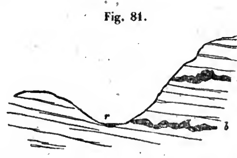
c. Lorsqu'un observateur découvre des ossements dans une caverne, il doit examiner leur manière d'être avec une attention toute particulière. Il fera une coupe générale du sol de la caverne et notera l'épaisseur des stalagmites, de la vase, du sable ou gravier, ayant soin de recueillir des échantillons de chacune de ces substances avant qu'elles aient été mélangées par suite de l'exploration. Il observera avec soin si les ossements et les dents de différentes espèces se trouvent dans des assises particulières, ou s'ils sont tous mélangés confusément. Il devra prendre aussi des coupes de la caverne sur différents points et bien examiner les directions suivant lesquelles elle pourrait communiquer avec la surface du sol; car il arrive souvent que les cavernes ont communiqué avec l'extérieur sur d'autres points que leur entrée actuelle, et que ces ouvertures ont été comblées plus tard par des matières éboulées. Il importe surtout de vérifier si ces communications sont verticales ou presque verticales, auquel cas on pourrait croire que c'étaient jadis des fissures ouvertes avant que les éboulements latéraux ne vinssent à les combler.

d. L'observateur devra examiner avec le plus grand soin les circonstances générales extérieures de la situation d'une caverne, et reconnaître s'il est probable que l'ouverture en ait jamais été masquée par des amas de graviers ou de fragments anguleux des rochers, et que la caverne n'ait été découverte que lorsque des causes naturelles ou artificielles en ont déblayé l'entrée. La caverne de Kirkdale, qui est devenue si célèbre par les recherches pleines d'intérêt du professeur Buckland, desquelles il est résulté que c'était là un repaire d'hyènes d'une espèce perdue, qui y entraînaient des débris d'éléphants, de rhinocéros, d'hippopotames et autres animaux habitant alors l'Yorkshire; cette caverne de Kirkdale, disons-nous, était fermée par un éboulement de gravier et n'a été ouverte que par accident dans les travaux d'une carrière. Si une caverne a été en libre communication avec la surface du sol depuis d'anciennes périodes géologiques, et jusqu'à nos jours, elle peut avoir été habitée d'abord par des animaux d'espèces perdues, puis par les espèces actuellement vivantes; et on peut trouver par la suite

des restes de tous ces animaux à la fois, quelquefois mêlés confusément, dans d'autres cas séparés par assises superposées les unes aux autres. On peut même y trouver des ossements humains ou des produits de l'industrie humaine, ce qui est arrivé en effet dans quelques localités, et particulièrement dans certaines cavernes du midi de la France.

e. Afin de découvrir d'où peuvent provenir la vase, les sables ou le gravier qui se trouvent mêlés aux ossements, ou qui les recouvrent en formant diverses assises, l'observateur devra étudier les relations de position que présentent les cavernes avec la structure physique de la contrée voisine. Supposons, par exemple, que la figure 81 représente la coupe d'une vallée sur l'un des côtés de

Fig. 81.

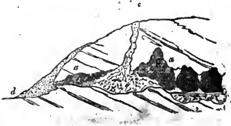


laquelle se trouvent deux cavernes à ossements *a* et *b*, et que la rivière *r* qui coule dans le fond de cette vallée peut transporter, suivant l'abondance plus ou moins forte de ses eaux, de la vase, des sables ou du gravier; il est évident, d'après la position de la caverne *b*, que ces matières de transport pourront être charriées dans son intérieur pendant les inondations, de manière à envelopper et recouvrir les ossements qui se trouveraient à portée de l'eau; il pourrait même arriver que les eaux surprissent dans ces cavernes et y noyassent des animaux qui en faisaient leur repaire habituel. La même cause ne pourrait dans aucun cas produire les mêmes effets dans la caverne *a*. L'observateur comprendra maintenant pourquoi nous lui recommandions de recueillir des échantillons de la vase, des sables et des graviers des cavernes à ossements; il pourra facilement les comparer aux matières d'alluvion transportées par une rivière voisine et voir quelle est la ressemblance ou la différence qui existe entre ces diverses substances. Si l'on trouve dans une caverne des cailloux qui ne peuvent avoir été amenés de leur place originaire par les cours d'eau actuels, il faudra chercher ail-

leurs la cause qui peut les avoir transportés dans la caverne dans laquelle on les observe. De cette manière on peut arriver à une foule d'inductions sur les diverses circonstances qui ont accompagné la conservation des ossements dans les différentes cavernes.

f. Nous avons fait remarquer combien il était important de voir s'il existait dans une caverne à ossements des communications verticales ou presque verticales avec la surface du sol; dans ce cas, en effet, il a pu se faire dans une caverne de grands amas d'ossements d'animaux qui y seraient tombés par la fente qui communique avec cette surface. Supposons que la figure 82 représente la coupe

Fig. 82.



d'une colline dans laquelle existe une caverne *aa*, qui communique en *b* avec le flanc de la colline, et qui en outre communique avec son sommet par une fente *e*. Une telle caverne peut avoir été habitée d'abord par des hyènes qui auront dévoré les animaux qui tombaient par la fente *c* et laissé sur le sol une partie de leurs ossements; de sorte que l'on pourrait trouver dans les parties les plus reculées de la caverne, *e*, des accumulations d'ossements d'hyènes mêlés à ceux des animaux qui leur servaient de nourriture. Il est facile de concevoir que la dégradation du terrain qui constitue la colline a pu accumuler des éboulements de détritus à l'entrée de la caverne, *d*, de manière à la fermer entièrement; ce qui l'aurait probablement rendue inhabitable pour les hyènes; ou bien, si l'on suppose que ces animaux pouvaient se frayer un passage à travers les décombres *d*, cette communication se sera fermée lorsque l'espèce aura été détruite, et il n'y aura plus eu d'entrée dans la caverne que par la fente verticale. Si maintenant des animaux continuent à tomber par cette fente, leurs ossements, que les hyènes auparavant dévoraient en partie, seront conservés en entier, ou à peine endommagés par la chute de l'animal. Il pourrait se trouver ainsi dans la même caverne deux accumulations de débris d'animaux, dont l'une

aurait été formée dans des circonstances entièrement différentes de l'autre ; les animaux tombant dans la caverne par la fente *c* pourront même se trouver d'espèces différentes d'une époque à l'autre, et cependant aux yeux d'un observateur superficiel le tout ne présenterait qu'un amas d'ossements divers, mêlés avec des fragments de roches et de la terre qui auront pu pénétrer par l'ouverture latérale, tandis que la fente verticale aura été comblée peu à peu de fragments éboulés, de terre, et peut-être de quelques ossements. Nous n'avons indiqué la possibilité d'une telle combinaison de circonstances qu'afin de prouver au lecteur combien il importe d'observer avec un soin minutieux tout ce qui est relatif au remplissage des cavernes à ossements, surtout lorsque des ossements humains se trouvent mêlés à ceux d'animaux d'espèces perdues, avec des circonstances équivoques de gisement.

g. Il n'y a point de différence bien essentielle entre une caverne telle que celle que nous venons de décrire et une fente remplie d'une brèche osseuse. Supposons que la figure 83 représente un

Fig. 83.

escarpement naturel ou artificiel, vu de face, et dans lequel se trouvent des fentes *a*, *b*, *c*, remplies d'un mélange d'ossements, de matière terreuse plus ou moins endurcie et de fragments des roches voisines. Il est facile de voir que ces fentes se trouvent dans les mêmes circonstances que la fente verticale *c* de la figure 82. Quelquefois il part de la fente principale un petit embranchement tel que celui *f* (fig. 83) qui forme une sorte de petite caverne latérale. Nous avons déjà parlé (page 82) des fissures de ce genre actuellement existantes ; il ne nous reste qu'à appeler l'attention du lecteur sur le ciment calcaire de couleur rouge que l'on rencontre si fréquemment dans les fentes à ossements, et dont la dureté varie depuis une consistance terreuse jusqu'à l'état le plus compacte. L'identité de ce ciment a fait conclure trop précipitamment, ainsi que l'a remarqué M. de Cristol, que toutes les brèches osseuses étaient de

Digitized by Google

même âge, tandis qu'il est probable qu'elles diffèrent de beaucoup sous ce rapport. Le même auteur remarque[1] que le ciment rouge des brèches n'est qu'une terre rouge qui résulte de la désagrégation du calcaire dans lequel se trouvent les fentes à ossements; il ajoute que partout où l'on rencontre ce ciment rouge, la fente est dans un terrain calcaire, ou bien située de manière à recevoir des détritus d'un calcaire désagrégé. Autant que nous pouvons en juger d'après nos observations personnelles sur les brèches osseuses de l'Italie et du midi de la France, l'opinion de M. de Cristol est parfaitement d'accord avec les faits. Cette substance rouge est amenée par les eaux dans les fentes où elle recouvre les ossements; ceux-ci continuent à s'accumuler et finissent par être cimentés par la matière rouge, qui devient compacte lorsque des infiltrations aqueuses viennent déposer du carbonate de chaux dans les interstices qui existaient entre ses molécules.

h. Il est encore une autre cause qui peut donner lieu à un mélange d'ossements de différents animaux avec des fragments de roches, de la terre, et même avec des cailloux venus de grandes distances, et l'observateur qui examine une caverne à ossements et le pays qui l'environne devra reconnaître jusqu'à quel point cette cause peut avoir contribué à la production du phénomène qu'il a sous les yeux. Dans certains pays calcaires de petites rivières se perdent dans des enfoncements du sol, et après avoir parcouru une série de cavernes souterraines, elles reparaissent à la surface à une distance plus ou moins grande du point où elles se sont perdues : il s'ensuit que ces rivières transportent dans les cavernes souterraines une quantité de substances organiques et inorganiques; de sorte que si le passage vient à être comblé par l'accumulation de ces substances, et que les eaux de la rivière suivent une autre direction, ces cavernes, lorsqu'on viendra à les découvrir, pourront contenir des ossements, mêlés avec des cailloux roulés. Supposons que la figure 84 représente la coupe d'une contrée dans laquelle se

Fig. 84.



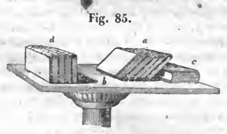
[1] *Observations générales sur les brèches osseuses.* Montpellier, 1834.

trouve une dépression *a* dont la partie inférieure pourrait devenir un lac si les eaux ne s'en écoulaient point par une série de cavernes *c, c, c* au-dessous de la colline ou montagne *e*, depuis le point *b*, situé sur l'un de ses flancs jusqu'en *d* sur le revers opposé. Il est évident que les diverses substances organiques et inorganiques entraînées dans le passage souterrain par l'ouverture *b*, rempliront d'abord la dépression *f*, puis la dépression *g*. Nous avons supposé (fig. 84) que la suite des cavernes s'élevait depuis le point *g* jusqu'à la sortie *d*. Dans ce cas l'accumulation constante d'ossements, de cailloux, de sable et de terre, mêlée aux fragments de la roche même de la colline, finira probablement par combler le passage entre les points *f* et *g*, de manière quo les eaux devront former un lac en *a*, ou bien se frayer un autre passage quelconque. Le lecteur pourra facilement imaginer une foule de circonstances qui pourront modifier les effots que nous venons de décrire, telles sont : un changement dans le relief du sol de la contrée, soit avant, soit après que le passage aura été comblé des mélanges d'ossements et de fragments de roches dus à une autre cause, etc.

XIX. *Direction et plongement des couches.* Avant de passer à la manière d'observer les terrains antérieurs aux dépôts qui se forment de nos jours, il est nécessaire d'appeler l'attention du lecteur sur la direction et le plongement des couches de ceux de ces terrains qui sont stratifiés.

a. Le plongement d'une couche est l'angle que le plan de cette couche fait avec l'horizon. Supposons une table *b* (fig. 85) sur la-

Fig. 85.



quelle sont placés quelques livres *a* dans une position inclinée, et appuyés sur un autre livre *c* qui pose à plat sur la table; si l'on considère le dessus de la table comme un plan horizontal et les livres comme représentant les couches d'un terrain, alors l'angle que les côtés des livres inclinés *a* font avec le plan de la table *b* sera leur *plongement*, et la mesure de cet angle sera celle du plongement; c'est-à-dire, que moins les côtés du livre sont inclinés,

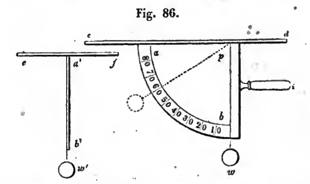
moins le plongement est grand, et *vice versa*. Le livre qui pose à plat sur la table est *horizontal* et n'a aucun plongement. Les livres *d* qui sont placés sur leur tranche sont *verticaux*, et on appelle *verticales*, les couches d'un terrain qui se trouvent dans une position analogue à celle de ces livres *d*.

b. La direction d'une couche est une ligne située sur le plan de cette couche et perpendiculaire à son plongement. Dans le cas de la figure 85 le dos des livres représente leur direction. Si les livres *a* plongent vers l'ouest, la ligne de leur dos ira du nord au sud, et ce sera là la *direction* de ces livres. Si l'on suppose que les livres *b* soient placés sur la table de manière que leur dos soit parallèle à celui des livres *a*, la direction de ces livres sera la même, malgré que les livres *b* soient verticaux et que ceux *a* plongent à l'ouest; la même chose se dit de couches qui se trouvent dans une relation analogue.

c. Si les couches d'un terrain étaient toujours aussi régulièrement placées, les unes par rapport aux autres, que le sont les livres de la figure 85, et si l'épaisseur d'une couche était toujours aussi uniforme que celle d'un livre donné quelconque, les observations sur le plongement et la direction des couches seraient fort aisées à faire. Il ne s'agirait que de placer à la surface de la couche un instrument qui pût indiquer, à l'aide d'un niveau ou d'un fil à plomb, l'angle que le plan de cette surface fait avec l'horizon, en même temps qu'une boussole indiquerait le point vers lequel plonge cette surface, et par conséquent sa direction, qui serait perpendiculaire à celle du plongement. On a imaginé en effet des instruments de cette nature, que l'on a nommés des clinomètres, et l'on a mis beaucoup d'art dans leur construction; mais il n'arrive pas une fois sur cent que ces instruments puissent être d'une utilité quelconque dans les observations qui ont rapport aux couches de l'écorce terrestre.

La surface de ces couches, vue en détail, est en général inégale et pleine d'aspérités, tandis que, prise en grand, on peut la regarder comme formant des plans qui, comparés à celui de l'horizon, peuvent lui être parallèles ou plonger sous un angle quelconque, ou bien encore être verticaux. Il est donc nécessaire d'employer un instrument qu'il ne soit pas nécessaire d'appliquer sur la surface inégale d'une couche, mais qui, tenu à la main ou placé dans une position convenable quelconque, puisse indiquer, au moins d'une manière fort approchante, la direction et le plongement que l'on cherche; un instrument qui, en négligeant les petites irrégularités de la surface des couches, en saisisse le plan général, qu'on pourra comparer à celui de l'horizon. Nous avons trouvé que l'instrument

Fig. 86.



représenté dans la figure 86 remplissait parfaitement cet objet et était d'une très-grande utilité dans la pratique. Il consiste en un quart de cercle gradué *ab*, de platine, d'argent ou de cuivre, fixé à sa partie supérieure à une plaque rectangulaire métallique *cd*, polie à sa surface supérieure et dont la longueur est à la largeur comme *cd* est à *ef*. Le quart de cercle tient en *b* à un montant de métal perpendiculaire à la plaque *cd*, à la surface inférieure de laquelle il est fixé; à ce montant est adapté une petite poignée d'ivoire ou d'ébène *i*. On comprend que si l'on suspend au point *p*, qui est le centre du quart de cercle, un poids métallique *w* par un cheveu, ou un fil de soie, et qu'on tienne à la main la poignée *i*, de manière à ce que le fil effleure exactement l'instrument en coupant le point 0 du quart de cercle, le plan *cd* sera parallèle à l'horizon; par conséquent, si l'on trouve que ce plan coïncide avec celui de la couche que l'on veut examiner, cette couche sera horizontale: cette détermination du moins sera suffisamment exacte pour le but qu'on se propose en général dans les observations géologiques.[1]

Que si l'observateur a devant lui une série de couches qui ne sont ni horizontales ni verticales, et dont il désire connaître le plongement, il inclinera la plaque *cd* de manière que le plan de sa surface coïncide avec le plan général des couches, et que le fil à plomb effleure le quart de cercle. La différence des degrés entre le 0 et le point auquel le fil coupera le quart de cercle, lui donnera le plongement des couches ou l'angle que ces couches font avec l'horizon. Si, pour concorder avec le plan de la surface

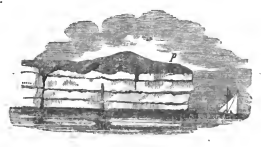
[1] *a'*, *b'*, *w'*, figurent le quart de cercle *ab* et le poids *w*, vus par derrière, la poignée de l'instrument étant enlevée.

des couches, la plaque *cd* était inclinée de manière que le fil à plomb coupât le quart de cercle à 60°, on saurait que le plongement de ces couches est de 60°, et il ne resterait à en connaître que la direction.

Or, si l'instrument a été tenu exactement dans le plan de la couche, la direction des grands côtés de la plaque supérieure *cd* coïncidera avec celle du plongement; il faudra donc reconnaître exactement cette direction avec une bonne boussole, en tenant compte de la déclinaison de l'aiguille aimantée, et alors l'observateur aura à la fois la quantité du plongement et sa direction, et par conséquent celle des couches. Avec un peu de pratique l'observateur arrivera à se servir avec facilité de cet instrument ou de tout autre qui serait combiné d'après les mêmes principes. Nous répéterons encore que les observations de direction doivent se faire relativement au méridien terrestre et non au magnétique, vu les erreurs qui pourraient provenir des changements auxquels est sujette la déclinaison de l'aiguille aimantée.

d. Nous avons supposé jusqu'ici que les couches que l'on avait à examiner étaient tellement à découvert, soit naturellement ou artificiellement, que l'observateur pouvait reconnaître avec facilité le véritable plan général de leur stratification. Il s'en faut cependant de beaucoup que ce soit toujours là le cas. Il arrive souvent, à la surface escarpée des falaises, par exemple, que les plans de stratification des couches offrent une seule ligne. Il est évident que ces lignes, vues d'un seul côté des falaises, pourraient donner une idée très-fausse de la véritable position des couches. Supposons que la figure 87 représente la vue du côté du sud d'un promontoire, dont

Fig. 87.

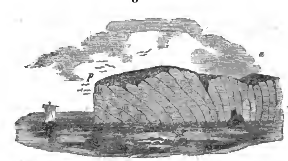


les couches paraissent horizontales. Si dans ce cas un observateur ne pouvait reconnaître le plan de la surface des couches, il ne pour-

Digitized by Google

rait point conclure que ce plan soit réellement horizontal; il lui faudrait chercher quelquo coupe dirigée autrement que l'escarpement sud de la falaise. Ainsi, par exemple, si le promontoire ci-dessus se termine en p par un escarpement dirigé nord-sud, dans lequel les couches soient disposées comme dans la figure 88, il sera évident

Fig. 88.



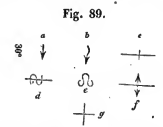
que l'apparence que présentaient les couches dans l'escarpement exposé au sud, était entièrement fausse; car le plan de ces mêmes couches, vu du côté de l'est, plonge sous un angle considérable vers le nord, et les couches s'y redressent peu à peu en a jusqu'à la verticale.

e. Lorsqu'il s'agit d'étudier des falaises, l'observateur, s'il est en mer, devra toujours chercher à débarquer, ou du moins à s'approcher assez de la côte pour bien reconnaître la surface générale des couches, qui est souvent découverte en partie dans de telles situations. Il est même peu de localités où l'on puisse mieux reconnaître le plongement et la direction des couches que sur les côtes, surtout sur celles des mers sujettes à la marée. Les grandes masses de rochers qui s'élèvent du sein des eaux et qui sont exposées à toute la fureur des brisants durant les tempêtes, sont particulièrement favorables aux observations de ce genre. Les remarques ci-dessus sur les fausses apparences d'horizontalité des couches de certaines falaises, s'appliquent aussi aux escarpements inaccessibles des hautes montagnes; là aussi il est nécessaire de voir des coupes des couches suivant des plans différents avant de pouvoir juger, même par approximation, de leur plongement.

f. Lorsque le plongement d'une couche, et par conséquent sa direction, sont bien déterminés, l'observateur devra immédiatement en prendre note; car s'il en reconnaît plusieurs dans un court espace

de temps, et qu'il y ait des variations soit dans la direction, soit dans l'angle de plongement, il y a tout à parier qu'il commettra quelque erreur s'il attend à écrire ses observations à la fin de la journée. Nous recommandons aussi à l'observateur de marquer sur une carte du pays, s'il en a une à sa disposition, les accidents de plongement et de direction, au moment même où il vient de les constater; les observations en sont ainsi plus authentiques, et l'observateur, à mesure qu'il avance, voit peu à peu se développer devant lui toute la disposition des couches du pays, rien qu'en jetant les yeux sur sa carte. Nous avons trouvé les signes suivants (fig. 89) extrêmement

Fig. 89.



commodes pour rappeler les divers accidents des couches. Il y a longtemps que l'on se sert d'une flèche pour indiquer la direction du plongement, c'est-à-dire que si le bas de cette page représente le sud d'une carte géographique, le plongement d'un terrain indiqué par *a* sera au sud. On peut écrire à côté de la flèche l'angle du plongement des couches; ainsi *a* indiquerait que les couches plongent au sud sous un angle de 30°. Le signe *b* indique que les couches irrégulières en détail plongent pourtant au sud, si on les considère en masse; *c* représente des couches verticales, la ligne plus longue étant celle de la direction de ces couches; *d* indique que les couches étant contournées de manière à ce qu'on ne puisse saisir leur plongement, elles sont pourtant dirigées suivant une ligne déterminée; *e* signifie que les couches sont tellement tourmentées qu'on ne peut y reconnaître ni plongement ni direction; *f* représente une ligne anticlinale, c'est-à-dire une ligne à partir de laquelle les couches plongent de chaque côté (le faîte d'un toit peut donner une idée exacte d'une ligne anticlinale, les pentes du toit figurant de chaque côté la surface des couches); *g* est une croix formée par deux lignes égales, et sert à représenter des couches horizontales.

g. On a supposé pendant longtemps que la stratification était un caractère exclusif des terrains déposés dans l'eau, qui aurait tenu les molécules dont ces terrains se composent, soit en solution chi-

mique, soit en suspension mécanique. Cela n'est cependant point rigoureusement vrai, car les assises basaltiques et trachytiques, et celles des conglomérats de ces deux terrains, se recouvrent les unes les autres sur des surfaces souvent très-étendues. On pourra donc appliquer les signes de la figure 89 à tout terrain stratifié, qu'il soit d'origine aqueuse ou ignée. D'ailleurs, l'objet qu'on se propose par ces signes est simplement d'indiquer sur le papier les divers accidents que peuvent présenter les assises d'une localité déterminée, quelle que soit d'ailleurs l'origine du terrain. En général, cependant, les terrains ignés sont plutôt massifs que divisés en assises. Il serait fort utile de noter cette circonstance sur les cartes géologiques, quoiqu'on ne l'aie point fait jusqu'ici, à notre connaissance du moins. Nous indiquerons pour cet objet les signes ci-dessous (fig. 90): *a* signifierait un terrain massif; mais comme les terrains ignés sont quelquefois partagés en prismes, et que cette structure est même fort commune dans quelques-uns de ces terrains, tels que les basaltes, on pourra représenter ce caractère par le signe *b*.

Fig. 90.

a

b

XX. *Failles et contournements des couches.* Les accidents de dislocation des couches, auxquels on donne le nom de *failles*, sont importants à observer, et le géologue qui négligerait de les étudier avec soin, se verrait conduit, par cette inadvertance, à des notions fort erronées sur la constitution d'un terrain. Il est tout aussi essentiel d'étudier les divers contournements des couches, car ces contournements peuvent indiquer l'intensité de la force qui a disloqué le sol; et la nature du terrain ainsi plissé et contourné peut nous amener à connaître les conditions sous lesquelles de tels accidents peuvent se produire.

a. Lorsqu'on veut construire la carte géologique d'un district quelconque, on a souvent l'habitude de vérifier d'abord la direction générale des couches, puis on parcourt le pays suivant des lignes perpendiculaires à cette direction, ces lignes étant souvent fort éloignées les unes des autres. Cette manière de procéder est sujette à de grandes erreurs, car on y néglige entièrement les lignes de dislocations ou les failles. Il faut absolument qu'un géologue, qui veut pouvoir compter sur ses propres travaux, parcoure le pays en tout sens, qu'il y trace pour ainsi dire un réseau de ses observations.

b. Il est évident que les failles seront plus ou moins apparentes, suivant la disposition générale du terrain qu'elles coupent et suivant la nature de ce terrain. Il est bien difficile de reconnaître, par une simple inspection superficielle du sol, si des couches verticales ont subi un mouvement vertical d'élévation ou de dépression, ou

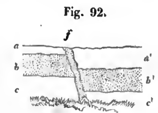
Digitized by Google

si des couches horizontales ont subi un mouvement horizontal quelconque; car, dans les deux cas, les couches de même nature se continueront des deux côtés de la ligne de faille, et la dislocation en sera fort difficile à découvrir. Supposons que la figure 91 représente le plan d'un district composé de trois terrains *a, b, c,* dont les couches sont verticales; il est évident que si le pays est traversé par une faille *f*, de l'un des côtés de laquelle les couches aient subi un abaissement vertical, les terrains *a', b', c'* seront toujours sur le prolongement de *a, b, c,* et la faille ne laissera point de trace sensible à la surface du sol. Que si l'on regarde la figure 91 comme une coupe verticale, il n'en est pas moins évident que dans tout mouvement horizontal d'un des côtés de la faille les deux parties d'une même couche seront toujours en contact. Dans de tels cas un observateur pourra s'aider des lignes que marquent les sources à la surface du sol, car il arrive souvent que les sources sortent d'une ligne de faille. Il devra chercher surtout s'il existe des ravins ou des escarpements sur l'alignement de la faille dont il a lieu de soupçonner l'existence, car il pourra plus facilement en reconnaître les accidents dans ces localités.

Fig. 91.

c. Après avoir constaté l'existence d'une faille (ce qui est souvent assez facile dans les falaises des bords de la mer, et là où des terrains différents par leur structure minéralogique se trouvent brusquement au contact l'un de l'autre), l'observateur devra examiner si les deux côtés de la faille sont ou non dans un contact immédiat. Il devra chercher avec soin toutes les traces de glissement qui auraient poli ou strié la surface des côtés de la faille, et voir si les lignes des stries coïncident avec la direction supposée du mouvement de dislocation. Lorsque les côtés d'une faille ne sont point immédiatement en contact, ainsi que dans la figure 92, il examinera les substances qui se trouvent comprises entre ses parois. Celles contenues dans la faille *f* peuvent être dérivées des couches *a, b, c,* ou bien elles peuvent avoir une tout autre origine. Dans le cas où

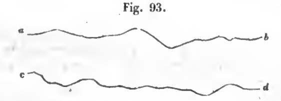
Fig. 92.



les parois d'une faille auraient subi une grande friction avant de prendre leur position relative actuelle, les fragments de ces parois peuvent avoir été plus ou moins broyés ou pulvérisés. Si dès l'origine la faille *f* est restée bâillante, les fragments ne seront tombés que d'après leur pesanteur, et l'on devra s'attendre à ne point trouver des fragments de la couche *c* plus haut que celle *b* (fig. 92).

d. L'observateur devra examiner avec soin la direction d'une faille et en rapporter l'allure générale aux différents points de l'horizon; en même temps il devra suivre la ligne de la faille dans tous ses détails, et noter toutes les déviations qui s'y écartent de la direction générale. Supposons que la ligne *a b* (fig. 93) représente l'allure

Fig. 93.



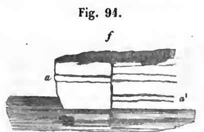
d'une faille sur une longueur de vingt milles, et que le haut et le bas de la page correspondent aux points nord et sud d'une carte géographique, alors la direction de la faille *a b* sera de l'est à l'ouest, malgré les déviations partielles qui s'écartent de cette direction. Il est évident que si l'on ne pouvait suivre cette faille que sur deux ou trois milles, pris entre les points *a* et *b*, on pourrait croire qu'elle a une direction fort différente; de là la nécessité de suivre les failles sur des distances considérables toutes les fois qu'on pourra parvenir à le faire.

Lorsque les terrains d'un pays sont coupés par plusieurs failles, il est à désirer que l'on vérifie jusqu'à quel point ces failles sont parallèles les unes aux autres. Dans ce cas, tout comme lorsqu'il s'agit de la direction d'une faille, c'est l'allure générale qu'il faut

en examiner et non les déviations de détail. Supposons que *cd* (fig. 93) représente une seconde faille, s'étendant de même sur une longueur de vingt milles environ, dans la même contrée que la faille *ab*; ces deux failles seront dites parallèles, malgré qu'en les suivant avec détail on puisse ne point trouver deux portions de ces failles, de deux ou trois milles de longueur, qui soient rigoureusement parallèles entre elles. Lorsque l'on voudra tracer ces failles sur une carte, il faut que l'échelle de cette carte soit assez grande pour qu'on puisse y marquer toutes les déviations de détail, ou bien qu'elle soit assez petite pour que les déviations locales disparaissent et se fondent dans une ligne à peu près droite. Nous avons supposé (fig. 93), que les failles avaient vingt milles de long environ. Que si les mêmes failles se prolongeaient à des distances beaucoup plus grandes, il pourrait arriver que la direction générale de ces failles ne coïncidât point avec celle des portions *ab* et *cd*, tout comme ces deux portions ont une direction déterminée qui ne se retrouve point dans leur détail. Lorsque l'on ne peut suivre une faille que sur un mille de longueur par exemple, ce n'est qu'avec une grande hésitation que l'on peut se hasarder à dire quelle est la direction générale de cette faille. Si l'on trace sur une carte la faille telle qu'on l'a observée, et seulement sur la distance qu'on a parcourue, il ne peut y avoir lieu à erreur, car on ne fait que rapporter un fait, dont d'autres personnes pourront à leur gré tirer les conséquences; mais lorsqu'on ne fait que décrire une faille, le cas est bien différent: ainsi, lorsqu'on nous dit qu'une faille a une direction déterminée, sans ajouter qu'on n'a reconnu cette direction que sur une petite distance, nous pouvons être induits en erreur en confondant un accident purement local avec la direction véritable qu'aurait cette faille suivie sur de plus grandes distances.

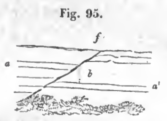
e. L'observateur devra mesurer exactement, autant que possible, la quantité dont un des côtés d'une faille est rejeté par rapport à l'autre, c'est-à-dire la distance verticale qui existe aujourd'hui entre une couche et le prolongement de la partie de cette même couche située à l'autre côté de la faille. Il faut plus de soin qu'on ne l'imagine pour bien reconnaître la quantité du mouvement vertical des failles; plus de soin peut-être qu'on n'en apporte souvent dans des observations de ce genre. Si les couches sont horizontales, comme dans la figure 94, et que la fracture *f* soit verticale, la distance entre la couche *a* d'un côté de la faille et son analogue *a'* du côté opposé mesurée verticalement, donnera la mesure de la dislocation des couches. Mais si la fracture, au lieu d'être verticale, était inclinée, les couches restant toujours horizontales, comme

Fig. 94.



dans la figure 95, dans laquelle on a conservé, pour dénoter les mêmes objets, les mêmes lettres que dans la figure 94, la distance mesurée le long de la ligne de fracture ne donnerait point la mesure de la dislocation, ainsi qu'on peut s'en assurer en comparant entre

Fig. 95.



elles les deux coupes des figures 94 et 95, dans lesquelles les couches sont rejetées d'une quantité égale. Pour mesurer la hauteur de la dislocation de la figure 95, il faudrait abaisser une perpendiculaire *b* du point auquel la partie supérieure d'une couche rencontre la faille jusqu'à la surface supérieure de la même couche du côté opposé de la faille, et la longueur de cette perpendiculaire donnera la hauteur exacte de la dislocation.

f. L'observateur comprendra facilement que les relations entre les couches et les fractures ou failles peuvent être telles qu'il en devienne très-difficile de distinguer la quantité véritable du mouvement de dislocation. Dans ces cas, nous nous en remettons à sa pratique et à son habileté; car il serait beaucoup trop long de suggérer la marche à suivre dans les diverses complications que peuvent présenter les dispositions relatives des couches et des failles.

g. Nous appellerons maintenant l'attention de l'observateur sur les dislocations des couches qui ont eu lieu sur de plus grandes échelles, lorsque ces couches, pressées les unes contre les autres dans certaines directions, ont dû s'élever en partie de manière à produire

Google

ces lignes d'aspérités que l'on appelle communément chaînes de montagnes. Ces dislocations ne sont en réalité que des failles sur des échelles infiniment plus grandes que celles qui s'observent si fréquemment dans les pays de plaine. Les masses fracturées sont plus considérables, les lignes de fracture plus étendues, le changement de niveau relatif plus important. Ce ne sont pourtant que de simples crevasses de l'écorce du globe; et l'observateur pourra mieux apprécier leur importance relative en prenant à la main un globe terrestre, en y mesurant la longueur d'une chaîne de montagnes et en estimant la hauteur de cette chaîne relativement au diamètre du globe, qu'il ne le fera en s'en tenant aux descriptions si pittoresques des voyageurs, qui lui donneront nécessairement de fausses idées de la grandeur réelle du phénomène, en faisant entièrement abstraction de son rapport avec les dimensions de la planète terrestre. Si un observateur, placé dans un pays de montagnes, y mesure les objets d'après sa propre hauteur, au lieu de s'élever jusqu'à embrasser l'ensemble d'une chaîne, s'il s'arrête à contempler la grandeur que son imagination prête à chaque sommité, au lieu de ne s'occuper que des lignes générales de fracture de l'écorce du globe, il arrivera difficilement à recueillir quelques notions qui puissent profiter à la science. Loin de nous la pensée de déprécier ce qu'il y a de sublime dans les scènes des montagnes; il y aurait ingratitude de notre part, car nos moments les plus heureux se sont passés entre les glaciers, les torrents et les cascades, et certes, dans l'exaltation de nos sentiments, nous avions bien de la peine alors à songer à autre chose qu'à la beauté du spectacle que nous avions sous les yeux. Un observateur peut être à la fois géologue et artiste; mais lorsqu'il veut examiner la nature du côté scientifique, il doit mettre de côté tout enthousiasme, pour un moment du moins, et ne regarder les montagnes que comme des terrains disloqués, redressés suivant certaines directions, et ne formant à la surface du globe que de véritables égratignures.

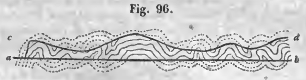
h. Les indications que nous avons données sur la manière d'observer les dislocations des terrains sur de petites échelles, peuvent servir aussi pour les accidents plus considérables des chaînes de montagnes; seulement les moyens de mesurer les distances auxquelles les diverses masses sont portées sur les côtés des failles, sont nécessairement beaucoup plus compliqués que ceux à l'aide desquels on apprécie les changements de niveau relatif des côtés d'une faille ordinaire. Après avoir noté le plongement des couches, on reconnaîtra la hauteur verticale des dislocations qui s'aperçoivent sur un escarpement, ou sur les côtés d'une vallée, soit par des observa-

Digitized by Google

tions trigonométriques, soit à l'aide du baromètre. Les dislocations horizontales se mesureront par les procédés ordinaires de la trigonométrie. On aura le plus grand soin de bien déterminer les directions dominantes des lignes de fractures et de failles, car c'est d'après ces observations que l'on pourra juger de l'importance qu'il faut attacher à la théorie qui admet des directions déterminées à chaque soulèvement de chaînes de montagnes; mais l'observateur devra se rappeler que c'est la direction générale des accidents qu'il s'agit de reconnaître, et il évitera de confondre avec cette direction générale les petites déviations locales des fractures de second ordre, ainsi que nous l'avons dit plus haut à propos des failles des pays de plaine.

i. L'observateur qui se trouve au milieu de couches contournées devra chercher à reconnaître si, malgré leur contournement, les couches n'ont pas, ainsi qu'il arrive le plus souvent, une direction déterminée. Supposons que les lignes de cette page représentent la direction des couches, le lecteur pourra facilement imaginer que la feuille de papier qui figure une couche donnée quelconque soit plissée et infléchie de manière que les lignes d'impression forment le sommet ou le fond de contournements parallèles les uns aux autres et ayant une direction déterminée. Si maintenant, après qu'une feuille de papier a été ainsi infléchie, on en enlève comme on pourrait le faire avec un rabot, une partie de la surface supérieure, on aura une série de marges coupées de papier, qui toutes seront parallèles les unes aux autres, ou à peu près. Supposons que la figure 96

Fig. 96.

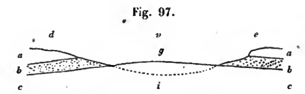


représente la tranche de plusieurs feuilles de papier, ou morceaux de draps plissés ou froncés en arêtes parallèles, puis imaginons que ces morceaux de drap ou de papier sont de véritables couches de l'écorce terrestre; que *a b* est le niveau de la mer, et *c d* la surface ondulée de diverses collines. Les parties de la figure qui ne sont point pointillées nous offriront un aspect tel que celui qu'on peut observer dans plusieurs falaises, dans celle, par exemple, qui s'étend vers le Sud depuis le *Hartland-Point* (Devonshire septentrional).

k. Il est évident que dans un pays à couches fortement contournées, la surface générale du sol peut être coupée de manière à ce qu'il y ait un grand nombre de protubérances formées par des cou-

ches inférieures pointant à travers celles qui leur sont superposées, tandis que celles-ci peuvent être déprimées de manière à former des bassins entre les protubérances des couches plus anciennes. Lorsque par suite de grandes érosions les couches soulevées sont dégradées de manière à présenter la forme d'un bassin, la dépression qui en résulte prend le nom de cirque ou de vallée circulaire d'élévation. Dans la figure 97 nous avons représenté la coupe d'une protubérance

Fig. 97.



provenant d'un contournement à la suite duquel les terrains *a, b, c* ont été soulevés en *g*. Le terrain *c* a mieux résisté que *a* et *b* aux causes de dénudation qui ont agi sur la surface soulevée. Dans ce cas la dépression *v* sera appelée un cirque d'élévation si les escarpements *d* et *e* forment autour de la dépression centrale comme une sorte d'amphithéâtre, ayant probablement une ouverture qui sert d'écoulement aux eaux de cette vallée. Nous avons supposé que le terrain *c* a pu résister assez aux causes de dénudation pour former encore une sorte de petite colline au centre de la dépression, parce que c'est là un cas qui se présente souvent dans la nature. La même figure peut servir aussi à expliquer la structure des vallées d'élévation, pourvu que l'on suppose que le fond de la dépression est marqué par la ligne pointillée *i*, et que *d* et *e* sont des collines latérales de chaque côté de cette vallée. Dans ce dernier cas nous supposons que le terrain *c* a été dégradé lui-même et que la dénudation s'est étendue jusqu'en i. L'observateur devra vérifier si la vallée d'élévation n'est pas une fracture dont les côtés auraient été redressés de manière à plonger vers l'extérieur, au lieu de n'être que le sommet dénudé d'un plissement des couches, tel que celui de la figure 97. Supposons que la figure 98 représente une fente dans laquelle les terrains *a, b, c*, ont été redressés de manière que lors de la rupture du sol il en résultait une cavité bâillante *d, f, e*. Si des actions postérieures ont tellement usé les parties saillantes *de* que la surface actuelle du sol soit représentée par la ligne *gh*, on pourrait croire que cette disposition résulte simplement d'une dénudation générale du sol, ayant agi particulièrement au sommet d'un contournement des couches. L'observateur devra donc examiner avec

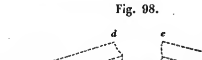
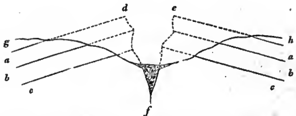



Fig. 98.

soin le centre de la vallée et reconnaître si les couches se continuent d'un côté à l'autre, ou si le fond en est rempli de graviers ou autres détritus jusqu'à une profondeur qui rende probable l'existence d'une fente dont ces détritus auraient comblé la partie inférieure. D'après la pente à l'extérieur des couches *a b c*, l'observateur pourra construire une coupe *proportionnelle* de la vallée (c'est-à-dire une coupe dans laquelle les distances horizontales et les hauteurs verticales sont figurées sur une même échelle), et la forme générale de cette coupe lui indiquera si cette configuration du sol doit être plus probablement attribuée à un grand plissement ou à une fracture des couches.

XXI. *Joints de structure des roches*[1]. Les terrains, tant massifs que stratifiés, sont souvent coupés suivant des plans parallèles qui peuvent quelquefois être pris, par un observateur qui n'aurait pas une grande expérience, pour de véritables plans de stratification. Cette ressemblance a donné lieu souvent à de grandes confusions. On a donné à ces plans le nom de *clivage* aussi bien que celui de *joints*, et on a attaché souvent à ces termes une valeur théorique; si nous préférons les appeler *joints de structure*, nous déclarons que nous ne voulons rien préjuger par là quant à leur origine, et que nous voulons simplement les distinguer des *plans de stratification*. Ce n'est point que nous trouvions à redire au terme de *clivage;* si nous ne l'adoptons point, c'est simplement pour ne point paraître ad-

[1] L'auteur donne à ce paragraphe le titre de *Structural planes of rocks*, et il dit expressément qu'il rejette la dénomination de *joints*, comme ayant une valeur théorique. J'ai cru pouvoir adopter cependant le terme de *joints* dans le sens que lui donne M. d'Omalius (Éléments de géologie, page 168, 2.ᵉ édit.), et qui ne me paraît rien impliquer quant à leur origine. On verra dans les *Recherches sur la partie théorique de la géologie*, que l'auteur s'y prononce pour le terme de *clivage*, dont il discute alors toute la valeur théorique. (*Note du traducteur.*)

Digitized by Google

mettre une théorie particulière à l'égard de l'origine de ces joints, lorsqu'il ne s'agit pour nous que de l'observation des faits.

a. Les schistes argileux présentent fréquemment des joints de structure sur une petite échelle. Supposons que la figure 99 représente la coupe d'un escarpement composé de schiste argileux (moins une couche *c* de nature diverse) dans lequel l'observateur trouvera deux séries différentes de plans parallèles, c'est-à-dire les plans des

Fig. 99.



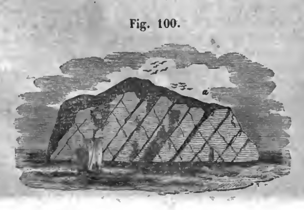
couches figurés par les lignes *a, b, c, d, e, f, g, h,* plongeant dans un sens, et les feuillets des schistes dirigés dans le sens opposé. Il pourra se trouver fort embarrassé pour savoir lesquels de ces plans indiquent la véritable stratification; car la chose est loin de se présenter toujours aussi clairement que dans la figure 99; on a des exemples, dans les terrains schisteux, de feuillets parallèles aux plans des couches, tandis qu'un système de fissures parallèles coupe la masse dans une autre direction. Lorsqu'il se présente une difficulté de ce genre, l'observateur devra chercher s'il ne se trouve point une couche de grès ou autre subordonnée aux schistes, et cette couche pourra lui indiquer la direction générale des couches. Nous avons supposé dans la figure 99 qu'il existait une telle couche en *c*, et dans ce cas il sera prouvé que les lignes *a, b, d,* etc., qui lui sont parallèles, représentent les plans de stratification, et que les feuillets des couches résultent de *joints de structure*. Nous avons trouvé quelquefois des schistes qui se divisaient suivant trois directions différentes, de sorte qu'il devenait difficile de reconnaître lequel des trois plans était celui de la stratification. Cet accident se remarque, entre autres localités, à *Morte-Point* sur la côte nord du *Devonshire*. Une des séries de plans y plonge au nord, une seconde au sud, tandis qu'une troisième série coupe les deux premières dans une direction nord-sud. Heureusement que l'on voit à quelque distance des couches non feuilletées qui indiquent la véritable direction générale du terrain; mais comme cela n'arrive pas toujours, nous ne pouvons trop recommander à l'observateur de chercher par tous les moyens possibles à reconnaître dans les terrains schisteux quelle est la véritable direction des couches, et à ne point se laisser aller à des illusions produites par la régularité des joints de structure.

b. Il arrive quelquefois que les joints de structure coupent à la

fois les schistes argileux et les couches de grès et autres subordonnées aux schistes; cela a lieu surtout dans les terrains du groupe de la grauwacke. Dans ces cas les joints de structure sont le plus souvent perpendiculaires au plan général de la stratification. Si ces plans ne sont point perpendiculaires l'un à l'autre, l'observateur pourra facilement reconnaître le sens des couches en suivant les plans qui séparent des roches différentes entre elles; en suivant, par exemple, la séparation d'une couche de grès d'avec les schistes voisins. Mais lorsque les joints de structure sont perpendiculaires au plongement des couches, on peut facilement les confondre avec des lignes de faille. Dans ce cas il devra chercher à reconnaître s'il y a quelque dislocation suivant l'un des deux plans qui se coupent à angle droit, ou si les joints de structure ne sont marqués que par de simples fentes parallèles qui ne changent rien à la position relative des couches.

c. Certains calcaires noirâtres et compactes, tels que ceux qu'on voit en Angleterre dans les groupes de la grauwacke et carbonifère, sont souvent divisés suivant des plans qui croisent celui des couches; et comme les mêmes plans se prolongent souvent dans tout un massif de couches superposées, il faut une grande attention de la part de l'observateur pour reconnaître le sens véritable de la stratification; ce qui devient fort difficile lorsque les calcaires ne contiennent point de restes organiques. Supposons que la figure 100 représente une masse isolée de calcaire sortant de la mer et traversée par deux séries de plans parallèles qui se coupent les uns les autres. L'observateur devra rechercher, dans ce cas, s'il existe quelque couche mince marneuse, subordonnée au calcaire, qui pourra lui indiquer le véritable sens de la stratification et du plongement général des couches. Nous avons supposé qu'il existait un tel lit marneux dans la figure 100 et nous l'avons indiqué en *a*. Lorsqu'on ne trouve

Fig. 100.



point une couche bien distincte, l'observateur cherchera si l'on peut suivre un caractère particulier quelconque du calcaire, dans une direction plutôt que dans une autre; il devra s'attacher surtout aux fossiles, car il arrive le plus souvent que chaque couche contient une association particulière de débris organiques.

d. Parmi les couches de grès compacte, surtout dans les grès de l'époque de la grauwacke, il s'en trouve qui se partagent naturellement en prismes rhomboïdaux ou autres solides de même nature, tels que celui représenté figure 101. L'observateur devra examiner

Fig. 101.



jusqu'à quel point les fragments d'une même couche se ressemblent entre eux, et jusqu'à quel point ces formes varient suivant la nature minéralogique de la roche. Comme on ne s'est point assez occupé jusqu'ici de l'étude de ces corps rhomboïdaux ou prismatiques, il serait à désirer qu'on en fît des collections à l'aide desquelles on pût rechercher les causes qui ont donné lieu à ces fragments ayant des formes géométriques.

e. Ce ne sont pas seulement les terrains stratifiés et qui ont été déposés dans les eaux qui sont traversés par des joints de structure; au contraire, les mêmes plans se retrouvent dans des terrains qu'on admet être d'origine ignée, et qui, sans les fissures occasionnées par ces joints, seraient entièrement massifs. C'est là une circonstance qui

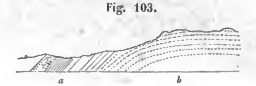
Fig. 102.



se présente très-fréquemment dans le granite, et souvent elle donne à des portions de cette roche l'apparence d'une construction artificielle. Les joints de structure du granite sont généralement disposés de telle sorte que la masse de la roche en est divisée en prismes peu élevés, à base rectangulaire. Lorsque ces prismes sont exposés à l'action de l'atmosphère, ou bien à celle de la mer, le long des côtes, ils présentent souvent l'aspect de ruines colossales. Les blocs sont en général superposés les uns aux autres comme dans le dessin ci-joint (fig. 102), de manière à former de gros prismes, composés de plusieurs prismes moins élevés et ayant la même base.

f. Lorsqu'une masse de granite est venue s'intercaler dans des terrains préexistants, il arrive quelquefois que la surface de contact paraît avoir exercé une sorte d'influence sur la disposition que présentent les joints de structure de la roche intercalée. Supposons que la figure 103 représente la jonction d'une masse de granite, *b*, avec

Fig. 103.



un terrain stratifié préexistant, *a*, dans lequel le granite s'est intercalé en relevant les couches de ce terrain, l'observateur devra rechercher jusqu'à quel point la surface inférieure du terrain *a* a eu de l'influence sur la production des joints de structure du granite *b*. Nous avons vu souvent, dans de telles circonstances, qu'une série des joints de structure du granite est disposée comme il est indiqué par les lignes pointillées de la figure 103; de manière à faire croire au premier abord que le granite est divisé en assises qui plongent sous les couches du terrain stratifié avec la même direction que celle de ces couches. Pour se convaincre que ce ne sont pas là de véritables couches, l'observateur n'aura qu'à suivre les joints de structure qui les divisent, et il trouvera bientôt des plans verticaux qui coupent les premiers; souvent il existe deux séries de plans verticaux qui se coupent à angles droits, de sorte que la masse du granite est partagée en blocs nombreux qui s'élèvent quelquefois en grandes masses terminées par des cimes pittoresques, qui dans le district de *Dartmoor*, dans le *Devonshire*, portent le nom de *Tors*.

g. Lorsque le granite et quelques autres roches ignées s'élèvent en forme de protubérances non recouvertes par d'autres terrains,

on remarque souvent dans ces roches la même sorte de tendance à se diviser suivant des surfaces parallèles à la forme extérieure de la protubérance; on observe, en outre, deux autres séries de joints de structure qui se croisent à angle presque droit et coupent les divisions parallèles à la surface. Si la figure 104 représente la coupe d'une protubérance formée par une roche ignée, l'observateur devra rechercher si une des séries des joints de structure correspond à la surface extérieure, ainsi que nous l'avons indiqué par les lignes pointillées de la figure 104.

Fig. 104.

h. En général l'observateur devra examiner avec soin si les roches ignées présentent des joints de structure vers leurs surfaces de contact avec les terrains préexistants dans lesquels elles ont été intercalées. Il arrive souvent que les roches ignées sont entièrement massives près de ce contact; mais comme nous avons l'occasion de voir certains porphyres et grünsteins divisés par des plans parallèles qui leur donnent une apparence schisteuse, nous recommandons aux observateurs de porter sur ce sujet plus d'attention qu'on ne l'a fait jusqu'ici.

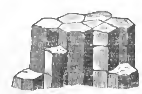
i. Toutes les fois qu'on rencontre des joints de structure, soit dans les terrains stratifiés, soit dans les non stratifiés, on devra observer la direction et le plongement des plans de ces joints, surtout de ceux qui approchent de la verticale. On a reconnu dans quelques contrées que ces plans suivent une direction déterminée sur des surfaces très-étendues, et même à travers des terrains différents. Bien entendu que ces directions devront être rapportées au méridien terrestre du lieu et non au méridien magnétique.

k. Il est des roches ignées qui se divisent en une multitude de prismes, et qui par suite portent le nom de *colonnaires.* Nous ne nous arrêterons pas à rechercher si cette disposition tient à des *joints de structure*, dans le sens du moins que nous avons donné jusqu'ici à cette expression; nous allons seulement dire quelques mots de ces roches à divisions prismatiques, faute de leur trouver une place plus convenable dans notre ouvrage. La Chaussée des Géants et l'île de Staffa offrent dans les îles Britanniques des exemples bien connus de la structure colonnaire des basaltes. Dans ces deux localités la masse de basalte se compose d'assises qui paraissent s'être épanchées

Digitized by Google

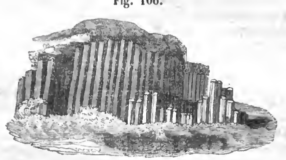
les unes au-dessus des autres à l'état de fusion, et dans lesquelles la structure prismatique s'est développée plus tard par suite de quelque circonstance particulière. L'observateur devra examiner, dans ce cas, si les prismes sont divisés par des joints comme dans la figure 105, ou bien s'ils se continuent, sans interruption, d'une

Fig. 105.



extrémité à l'autre de la masse, comme on l'a représenté dans la figure 106. Lorsque les prismes ont de grandes dimensions, on devra

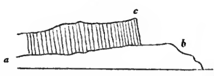
Fig. 106.



les mesurer. On en a reconnu à *Fairhead*, sur la côte nord-est de l'Irlande, qui ont 317 pieds de hauteur. On devra noter le nombre des faces dont se composent les prismes, comme aussi si ce nombre varie, ou si le plus grand nombre des prismes est hexagonal.

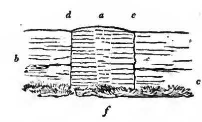
l. Toutes les fois qu'on peut observer une roche à divisions prismatiques reposant sur un terrain quelconque, l'observateur devra examiner si les prismes sont perpendiculaires au plan de la surface du terrain inférieur. Supposons que *a b* (fig. 107) représente la coupe d'une surface qui supporte une masse ignée, *c*, divisée en prismes; il s'agira de reconnaître si ces prismes sont ou non perpendiculaires à la ligne *a b*. Quant à la structure prismatique qui s'observe quelquefois dans les roches qui forment des dykes, on devra examiner

Fig. 107.



si les prismes sont ou non perpendiculaires aux parois de ces dykes. Si *a* (fig. 108) représente un dyke d'une roche ignée intercalée

Fig. 108.



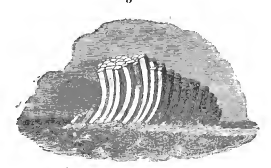
entre des couches *bc* qui jadis étaient continues, il faudra voir si les prismes sont perpendiculaires aux parois *d* et *e* du dyke, ainsi que nous les avons figurés, et si dans ce cas il règne de la confusion vers le centre du dyke en *af;* ou bien, si les prismes traversent réellement d'un côté à l'autre du dyke.

m. La structure prismatique se retrouve dans un grand nombre de roches ignées, dans quelques courants de lave, dans les basaltes, les trachytes, les pechsteins, les grünsteins, dans une quantité de porphyres et autres roches analogues. Il ne faudra donc point conclure de ce qu'une roche présente la division en prismes, que cette roche est nécessairement un basalte, ainsi que le pensent les personnes qui n'ont point de grandes connaissances géologiques. Cette structure ne prouve pas même que la roche qui l'offre soit d'origine ignée, car on a reconnu que des couches sédimentaires, telles que des grès, sont souvent divisées en prismes, lorsqu'elles se trouvent au-dessous ou au contact de roches ignées; on a conclu que cette circonstance était due à la chaleur qu'avaient eu à subir les couches ainsi situées, pendant le refroidissement très-lent de la roche ignée, puisqu'on peut produire artificiellement des effets semblables.[1]

[1] Voyez *Quarterly Journal of science,* 1829; et le Manuel géologique, art. *Roches non stratifiées.*

n. Les prismes ne sont pas toujours droits ; quelquefois ils sont recourbés comme dans le dessin ci-joint (fig. 109). Il serait à désirer

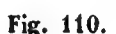
Fig. 109.

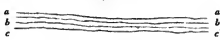


qu'on pût observer en pareil cas quelles sont les circonstances qui ont pu faire ainsi dévier ces prismes de leur forme habituelle ; si cette modification tient à une irrégularité de la surface sur laquelle ils reposent, ou si elle est inhérente à la nature même de ces prismes.

XXII. *Terrains fossilifères qui, pris en masse, contiennent des débris organiques.* Nous avons fait voir (page 6) que toutes les couches comprises dans cette classe de terrains ne contiennent pas nécessairement des restes de corps organisés, et nous avons indiqué (page 10) les noms que l'on a donnés aux différents groupes compris dans cette classe, en suivant leur ordre d'ancienneté relative et de superposition ; nous allons maintenant nous occuper de la manière d'observer ces terrains. Les objets principaux à y étudier sont : leur ordre relatif de superposition, la manière dont ils ont été formés et la nature des débris organiques qu'ils renferment.

a. Les observations les plus importantes sont nécessairement celles qui ont trait à la superposition réelle d'une série quelconque de terrains ou de couches ; car quelque importance que l'on veuille attribuer à la structure minéralogique des couches, ou aux fossiles qu'elles renferment, comme devant caractériser les dépôts de même âge sur des surfaces plus ou moins étendues, l'importance de ces caractères sera toujours subordonnée aux observations qui peuvent prouver directement la continuité réelle des dépôts eux-mêmes. Supposons que la figure 110 représente une coupe dans laquelle on peut suivre sans interruption trois groupes de couches depuis *abc* d'un côté, jusqu'en *a'b'c'* du côté opposé ; il est évident que si l'on parvient à démontrer que ces groupes forment réellement trois masses


Fig. 110.



minérales distinctes et continues, elles pourront différer totalement soit par leur structure minéralogique, soit par les fossiles qu'elles contiendront en *abc*, de ce qui se verra en *a'b'c'*, et cependant ces trois groupes de couches seront chacun du même âge géologique sur toute leur étendue. La structure minéralogique et les restes organiques, quelle que soit d'ailleurs l'importance de ces caractères, doivent céder à l'évidence fournie par la superposition réelle des couches.

b. Si la surface des roches n'était point recouverte par le sol végétal ou par d'autres matières détritiques incohérentes, et qu'un observateur pût réellement marcher sur la portion solide de l'écorce du globe d'un pays à l'autre, et même traverser ainsi tout un grand continent, il reconnaîtrait immédiatement, à ses pieds, tous les changements de structure minéralogique, ou de caractères organiques, qui auraient lieu dans les diverses couches ou groupes de couches qu'il parcourrait. Comme il n'en est point ainsi, il faut que l'observateur se contente d'examiner les diverses localités dans lesquelles la nature ou l'art ont mis à découvert une portion des couches terrestres, telles que les falaises des bords de la mer, les bords des rivières, les vallées et les escarpements des hautes montagnes, les ravins de toute sorte; les travaux des mines, des routes, des canaux, etc. Il est évident qu'un observateur doit partir d'un point quelconque, où la série des couches qu'il se propose d'étudier présente une certaine structure minéralogique, et contient des restes de certains animaux ou végétaux. Les personnes qui ne font que commencer l'étude de la géologie, nous demanderont comment elles pourront reconnaître une série particulière quelconque de couches, puisque des dépôts contemporains peuvent présenter une structure minéralogique différente d'un point à un autre, et contenir même des fossiles différents sur différents points. Quant aux caractères tirés des fossiles, il est juste d'observer qu'un grand nombre de géologues leur donnent une telle importance, qu'ils sont prêts à s'en rapporter aux conclusions tirées de la distribution des restes organiques plutôt qu'à tout autre caractère. Nous conseillons d'ailleurs à l'observateur qui visite les terrains de l'Europe, de s'en tenir à la division en différents groupes que les géologues ont adoptée d'après les recherches et les travaux impor-

Digitized by Google

tants des savants de cette partie du monde. Sans doute que plusieurs de ces groupes sont artificiels ; mais en tout cas ils sont extrêmement commodes dans l'état actuel de la science. Dans les autres parties du monde, dans lesquelles les travaux géologiques ne seraient pas aussi avancés qu'en Europe, nous recommandons à l'observateur d'étudier chaque pays d'après sa propre constitution géologique, au lieu de chercher à appliquer aux couches de ces pays les différents noms qu'on a donnés en Europe à des groupes particuliers. Il est évident que l'on pourra suivre peut-être un jour des groupes donnés de terrains fossilifères de l'Europe en Asie et en Afrique, et les reconnaître comme contemporains, malgré les modifications qu'ils pourraient présenter ; mais lorsque, sans avoir des points de comparaison intermédiaires, on admet de premier abord que des terrains de points très-éloignés, de l'Inde, par exemple, sont identiques avec certains groupes d'Europe, lorsque l'on veut même y retrouver toutes les sous-divisions qu'on a reconnues dans nos pays, on s'expose nécessairement à tomber dans des erreurs fort graves.

c. Relativement à l'Europe, et surtout à sa partie occidentale, l'observateur trouvera tant de secours de toute espèce dans les diverses cartes géologiques, dans les traités, les mémoires et les descriptions locales, qu'il n'y a guère de pays où il ne puisse se procurer des données sur la structure générale supposée du sol de toute localité qu'il voudra examiner ; et, autant que nous pouvons en juger par une expérience personnelle de plus de vingt ans, il trouvera les géologues de tout pays prêts à l'aider de tous leurs moyens dans les recherches qu'il voudra entreprendre. Il n'en devra pas moins examiner par lui-même la superposition relative des terrains dans les pays qu'il parcourt, afin de se convaincre que les opinions que l'on a avancées jusqu'à ce jour, sont réellement bien fondées ; et il pourra procéder à cet examen sans même savoir à quel groupe particulier doivent être rapportés les terrains qu'il a devant lui. Ceci s'applique à plus forte raison aux contrées dont les différents terrains, faute de recherches suffisamment étendues, n'ont point encore été réunis en groupes.

d. Supposons qu'un observateur a devant les yeux une suite d'escarpements, telle qu'on l'a représentée dans la figure 111, et

Fig. 111.



qu'il commence par étudier les couches *a*, qui sont les plus inférieures de tout ce qu'il découvre, il notera d'abord la structure minéralogique de ces couches ; savoir : si elles sont composées de marne, de grès, de calcaire, etc. Nous supposerons que les couches *a* sont calcaires : l'observateur devra chercher ensuite si elles contiennent des restes organiques, et dans ce cas il les recueillera soigneusement, en notant la couche particulière dans laquelle il les a trouvés. Supposons ensuite que l'on trouve en *b* un grès siliceux, que nous séparons du calcaire *a*, parce que toutes les analogies indiquent que les causes qui ont produit les calcaires doivent différer de celles qui ont occasionné le dépôt des grès siliceux. L'observateur devra chercher les fossiles qui peuvent se trouver dans ce grès, et il continuera de même pour les terrains respectifs *c*, *d*, *e*, *f*, que nous supposons différer minéralogiquement les uns des autres, et se recouvrir successivement, ce dont, au reste, l'observateur aura dû s'assurer par un examen attentif, qui ne puisse laisser lieu à aucune chance d'erreur.

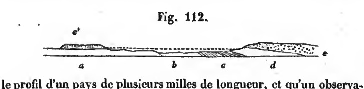
En procédant ainsi, l'observateur aura reconnu une certaine série de dépôts, qu'il admettra provisoirement comme distincts les uns des autres. Il lui restera à examiner les dépôts qui peuvent se trouver au-dessus ou au-dessous de cette série, et à suivre horizontalement ceux qu'il a déjà reconnus. L'étude de la coupe de la figure 111 lui aura donné déjà une idée générale de la superposition des couches de la contrée, de manière qu'en les suivant à la surface du sol, il sera à même d'apprécier tous les changements qui pourraient survenir, soit dans la structure minéralogique, soit dans les fossiles de ces couches, à mesure qu'il s'écarte de la localité dans laquelle il les a étudiées d'abord. Il pourra donc, en profitant de toutes les coupes naturelles et artificielles que présente le prolongement de ces couches, voir si des terrains qu'il aurait cru distincts d'après leur manière d'être dans la coupe de la figure 111, ne se réunissent point en un seul dépôt, ou si, d'un autre côté, il ne se développe point un nouveau terrain entre deux groupes de couches qui seraient contigus dans cette coupe, de manière à ce qu'il fût nécessaire d'intercaler ce nouveau terrain dans la série générale de la contrée.

Nous avons supposé dans la coupe de la figure 111, que les divers terrains étaient superposés les uns aux autres en stratification concordante. Il nous est impossible d'entrer dans tous les détails sur les diverses manières dont les différents terrains peuvent reposer les uns sur les autres ; mais de quelle manière que se fasse cette superposition, le principe d'après lequel on doit reconnaître la structure

du sol d'une contrée quelconque, est toujours le même. Le premier objet de l'observateur doit être toujours de se procurer autant que possible des preuves directes de la superposition relative des différents terrains qu'il doit examiner.

e. Il est nécessaire de donner ici quelque explication au sujet d'un mode particulier de superposition que l'on appelle *transgressive,* car cette disposition des couches peut donner lieu à de fausses conclusions. Supposons que la coupe suivante (fig. 112) représente

Fig. 112.



le profil d'un pays de plusieurs milles de longueur, et qu'un observateur se trouve examiner d'abord la partie gauche de cette coupe, il y verra le terrain *e'* reposer sur celui *a.* Il en prendra note, ainsi que de la structure minéralogique et des débris organiques do chacun des deux terrains; et il pourrait conclure qu'ils se suivent immédiatement dans la série générale des couches. Que si l'observateur étend ses recherches vers la droite de la figure 112, et qu'il continue dans cette direction jusqu'à ce qu'il trouve le terrain *b,* il s'étonnera sans doute de voir qu'il diffère à la fois par ses caractères minéralogiques et paléontologiques du terrain *e',* et que cependant il est superposé immédiatement comme l'autre sur le terrain *a.* Il pourra être tenté de croire, malgré la double différence de caractères, que le terrain *b* a été jadis en continuité avec le terrain *e':* il se tromperait évidemment dans ce cas; car *e'* est la continuation de *e,* qui suit dans l'ordre général le terrain *d,* qui lui-même est séparé de *a* par *b* et *c,* c'est-à-dire que *e* et *e'* ont fait partie jadis d'un même dépôt continu, qui a été ainsi partagé en lambeaux par des actions qui ont dénudé la surface générale du sol, et qui non-seulement ont séparé ces lambeaux, mais ont même entamé en partie les couches inférieures qui les supportent. Il est évident que tout dépôt plus récent peut reposer transgressivement sur un plus ancien, et qu'il peut manquer entre les deux un grand nombre de dépôts intermédiaires, qui compléteront la série générale des terrains sur d'autres points du globe.

f. On devra noter exactement la manière do laquelle des groupes de terrains, composés de couches différant minéralogiquement les unes des autres, telles que des marnes, grès, conglomérats et

Digitized by Google

calcaires, recouvrent en stratification transgressive des groupes différents; surtout lorsque l'aspect des couches inférieures nous autorise à croire qu'elles ont subi un mouvement de dislocation avant le dépôt de celles qui les recouvrent. Si *aa* (fig. 113)

Fig. 113.

représente un terrain donné quelconque, composé, par exemple, d'une suite de couches d'un calcaire noirâtre et de schistes argileux, recouvert en partie par un conglomérat rouge *d*, un calcaire blanchâtre *c*, et une marne grise *b*; on n'aura aucune difficulté à concevoir que le terrain *aa* a été disloqué et contourné avant le dépôt des couches *bcd*, et que par conséquent il se peut que les couches *d* ne suivent pas immédiatement le terrain *a* dans la série générale; car il a pu se former ailleurs des dépôts successifs dans des périodes de tranquillité intermédiaires entre la formation des terrains *a* et *d*. Dans la coupe ci-dessus (fig. 113) on voit évidemment que le groupe des terrains *bcd* s'est déposé tranquillement sur les couches redressées et contournées *aa*, et que par conséquent ces couches ne font point partie du même groupe, du moins dans cette localité. En procédant ainsi, on peut, sans s'en rapporter d'une manière absolue à la structure minéralogique ou aux caractères tirés des fossiles, établir différents groupes de couches occupant des contrées fort étendues, et qui ont été formés successivement et indépendamment les uns des autres.

g. L'observateur ne devra pas perdre de vue qu'un point déterminé de la surface de la terre peut avoir été tellement situé par rapport à un autre, qu'il se soit produit sur ce point tout une série de dépôts, qui ne sera point représentée ailleurs ou le sera par des couches de nature entièrement différente. Il est fort difficile de représenter cet état de choses dans un espace borné à la grandeur de cette page; cependant nous avons essayé d'en donner une idée au lecteur dans la figure 114. Supposons que l'arc *ab* représente une coupe du niveau de la mer sur une partie de notre planète; que *cd* figure la partie solide de l'écorce terrestre, qui en *e* est plus élevée que le niveau de la mer, et constitue la terre ferme, tandis qu'en *d* elle est inférieure à ce même niveau et y détermine

Fig. 114.



le fond de la mer : il est évident qu'il peut se former successivement en *d* de nombreux dépôts marins, tandis qu'il ne se formera sur la partie *c* que des dépôts partiels lacustres ou fluviatiles, comparativement peu étendus. Après un certain temps, la formation de ces derniers dépôts sera presque insensible, tandis que ceux d'origine marine continueront à se déposer aussi puissants que jamais. Que l'on compare, par exemple, l'ensemble des dépôts qui se forment aujourd'hui sur toute l'étendue des îles Britanniques avec ceux qui peuvent s'opérer dans les mers environnantes. Si l'on suppose dans la partie solide de l'écorce terrestre, représentée cidessus (fig. 114), un changement géologique tel que la ligne pointillée *ef* représente la nouvelle position de cette écorce solide, relativement au niveau de la mer *ab*, que nous supposerons n'avoir point changé sensiblement, *e* constituera aujourd'hui le fond de la mer, et *f* la terre ferme; il se formera donc des dépôts marins en *e*, et des dépôts lacustres ou fluviatiles seulement en *f*. Nous avons supposé, pour plus de simplicité, que le changement du niveau relatif entre la terre et la mer, s'était fait de telle sorte, que le point *h* avait toujours marqué les côtes de la mer. Il est inutile d'observer qu'il est presque impossible que le point *h* se trouve ainsi former, après le mouvement comme auparavant, la séparation entre la mer et la terre. Tout ce que nous pouvons faire sans sortir des limites que nous nous sommes proposées, c'est d'indiquer le principe que nous avons voulu représenter dans la figure 114; le lecteur pourra facilement imaginer un grand nombre de modifications accidentelles de ce principe. Dans les conditions que nous avons admises, les plus grandes différences entre les dépôts contemporains auraient lieu probablement aux points les plus éloignés, *a* et *b*, tandis que ces différences seraient le moins sensibles près du point intermédiaire *h*.

h. Nous allons passer maintenant à la manière d'observer la structure minéralogique des terrains fossilifères; non que nous considérions cette structure comme plus importante que les caractères tirés de la nature des fossiles renfermés dans les couches de ces terrains, mais parce que la masse de ces couches est formée de

matière minéralo inorganique. D'après l'état actuel de cette matière on peut conclure, sous un point de vue général, que le dépôt s'en est opéré soit par voie mécanique, soit par voie chimique; c'est-à-dire que cette matière a été entraînée par des eaux courantes qui la poussaient devant elles, ou la transportaient en suspension mécanique, et qu'elle a été déposée au fond de ces eaux, soit pendant qu'elles étaient en mouvement, soit après qu'elles s'étaient arrêtées, ou bien que la même matière a été séparée par une action chimique de l'eau douce ou marine dans laquelle elle était en solution.

i. Lorsqu'un observateur rencontre un *conglomérat*, c'est-à-dire une masse de cailloux arrondis, cimentée par quelque substance, telle qu'un grès, un calcaire, une argile, etc., son premier soin sera de reconnaître la nature des cailloux. Il examinera si la roche de ces cailloux se trouve en place dans le voisinage; car il est évident que les cailloux doivent être plus anciens que le conglomérat qui les renferme. Puis, si les cailloux sont de plusieurs sortes, il déterminera la proportion relative de ceux de chaque nature différente. Il arrivera de la sorte à pouvoir juger des distances relatives depuis lesquelles ils ont été transportés à leur place actuelle, ainsi que de la direction de la force qui les transportait. Nous devons ici avertir l'observateur de se tenir en garde contre une circonstance qui pourrait l'induire en erreur. Un conglomérat peut être composé en partie de cailloux provenant d'un conglomérat plus ancien, et en partie de fragments arrondis de roches plus simples, telles que des grès, des calcaires, etc. Dans ce cas il serait à propos de connaître la composition du conglomérat plus ancien avant que de chercher à juger d'où proviennent certains cailloux du moderne. Il est encore une autre circonstance qu'il ne faut point négliger. Il arrive parfois que l'on trouve dans un conglomérat des fragments arrondis que l'on ne peut rapporter à aucune roche connue, soit du voisinage, soit de localités même fort éloignées. Nous avons reconnu ce fait dans des conglomérats (de l'époque du grès rouge) dans lesquels on trouvait des cailloux trappéens, produits probablement d'une manière assez analogue aux laves des volcans modernes. Dans de tels cas il faut ou que ces cailloux aient été rejetés par un cratère volcanique, ainsi qu'il arrive fréquemment de nos jours, ou qu'ils aient fait partie de masses trappéennes ou autres, qui aujourd'hui sont cachées par le conglomérat lui-même.

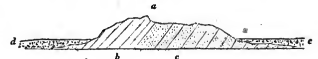
k. On donne le nom de *brèche* à des fragments anguleux de roches préexistantes, cimentés par du calcaire, de l'argile, du grès, etc. D'après la forme des fragments on peut conclure qu'ils

Digitized by Google

n'ont point été exposés à un grand frottement, et que par conséquent ils n'ont pas beaucoup voyagé. On doit s'attendre naturellement à trouver les brèches composées presque exclusivement de fragments des roches sur lesquelles elles reposent. Si *a* (fig. 115) représente la coupe d'un massif composé de couches calcaires,



Fig. 115.



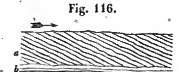
b, et d'un grès siliceux *c*, avec des brèches *d* et *e* de chaque côté du massif, on peut dire d'une manière générale que la brèche *d* sera composée de fragments du calcaire *b*, tandis que celle en *e* résultera de fragments du grès *c*; et cependant *d* et *e* auront pu être formés contemporainement, les causes qui ont fracturé en partie les couches *b* et *c* et celles qui en ont réuni les fragments en brèche, ayant agi simultanément aux deux côtés du massif *a*.

l. Il arrive quelquefois que l'on trouve dans une même couche un mélange de fragments anguleux et de cailloux arrondis. L'observateur devra examiner avec soin la nature des fragments et celle des cailloux, les différences qui peuvent les distinguer, et leur proportion relative; il cherchera à voir si l'ensemble du phénomène rappelle un ancien rivage sur lequel il se serait trouvé des fragments d'une même roche, les uns anguleux, les autres plus ou moins arrondis; ou bien, si les cailloux arrondis ont été transportés de loin et mêlés à des fragments anguleux de roches qui sont en place à côté de la brèche. On voit quelquefois une série puissante de couches, composée alternativement de conglomérats et de brèche, ou bien une couche puissante de conglomérats qui repose sur une couche analogue de brèches, et *vice versa*. Il faudra prendre note de tous ces faits, ainsi que des circonstances qui les accompagnent.

m. Toute distinction entre un *conglomérat à grains fins* et un *grès à gros grains* est nécessairement arbitraire jusqu'à un certain point; car ce ne sont là que deux manières d'exprimer un état d'atténuation par le frottement de la matière détritique, intermédiaire entre les gros fragments et une fine poussière. On pourrait peut-être donner le nom de conglomérat à une roche détritique, toutes les fois qu'elle est composée en très-grande partie de grains arrondis assez volumineux pour qu'on puisse reconnaître la nature

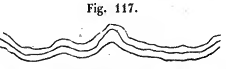
de la roche dont ils proviennent. Lorsqu'un observateur trouve un conglomérat dont le grain diminue peu à peu, de manière à ce que la roche passe finalement à un grès, il serait à désirer qu'il tienne note de toutes les circonstances de ce changement. Si la roche a été formée en son entier sur une surface préexistante, à l'aide de détritus poussés en avant par une masse d'eau courante, l'observateur pourra, dans plusieurs cas, reconnaître la direction du cours d'eau, lors même que la roche devient un grès, d'après les plans obliques à la stratification, tels que ceux que l'on a représentés dans la figure 116, dans laquelle on peut juger par ana-

Fig. 116.



logie que la couche *a* a été formée de détritus qu'une eau courante poussait sur le fond de son lit, ainsi que nous l'avons indiqué précédemment (page 54). On peut souvent découvrir les plans de ces feuillets obliques en enlevant petit à petit les portions désagrégées des grès, et alors on peut en reconnaître le plongement et la direction, en s'y prenant comme pour déterminer le plongement et la direction des couches (page 141). En procédant ainsi, l'observateur peut se faire une *idée générale* de la direction de la force qui a transporté les grains de sable qui forment le grès, en considérant que cette direction a dû être perpendiculaire à celle des feuillets, et opposée à leur plongement; car c'est ainsi qu'on peut s'expliquer que les grains de sable étaient poussés sur le plan incliné des feuillets préexistants vers le fond de l'eau, *b*. Nous disons, une *idée générale*, car on ne peut guère supposer que la ligne suivant laquelle les grains de sable sont poussés en bas, et tombent au-dessous de l'eau courante, ligne qui s'avance successivement, soit toujours une ligne droite; ce serait plutôt une courbe irrégulière qui, vue en plan, pourrait être analogue à la figure 117; et

Fig. 117.

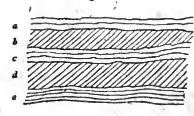


il deviendrait nécessaire d'avoir une moyenne générale de la direction des feuillets obliques au plan de la couche, afin de pouvoir

déterminer la direction du mouvement de l'eau qui poussait les grains de sable.

n. L'observateur trouvera que les feuillets obliques des roches arénacées sont excessivement variables dans leurs dispositions; et comme on peut tirer plusieurs conséquences de ces dispositions, il est à désirer que les observateurs dessinent exactement tous les accidents de ce genre qu'ils pourront découvrir dans des coupes naturelles ou artificielles. Supposons que la coupe d'une suite de couches arénacées soit semblable à celle représentée dans la figure 118, on pourra conclure que la couche inférieure *e* a été com-

Fig. 118.



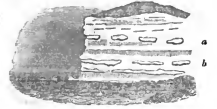
posée de molécules de sable, qui étaient d'abord tenues en suspension mécanique dans l'eau; puis la couche *d* aura été formée par les grains plus volumineux, que le cours d'eau poussait sur son fond; la couche *c* aura été déposée encore comme celle *e*; la couche *b* comme celle *d*, et enfin la couche *a* comme *c* et *e*. Si les plans des feuillets des couches *b* et *d* coïncident les uns avec les autres, on pourra en inférer encore que le cours d'eau, dont le frottement sur le fond de son lit faisait avancer les grains de sable, avait dans les deux cas la même direction. L'observateur trouvera quelquefois une grande confusion dans la direction des feuillets; il trouvera des sables plus ou moins grossiers et même des conglomérats mêlés les uns aux autres, ce qui le portera à conclure qu'il y avait une grande confusion dans les directions et les vitesses des masses d'eau qui poussaient les détritus, ou qui, perdant, par une diminution de cette vitesse, la faculté de tenir ces détritus en suspension mécanique, les laissaient déposer sur le fond de leur lit.

o. D'après toutes les analogies on doit considérer les conglomérats et les brèches comme ayant été jadis des amas désagrégés de cailloux arrondis ou de fragments anguleux de roches préexistantes, qui ont été réunis postérieurement en une masse compacte, par le ciment qui est intercalé aujourd'hui entre les divers fragments.

Les grès résultent de même de sables incohérents cimentés par une cause postérieure. On peut conclure de là que les schistes marneux, les ardoises, les marnes et les argiles, ont été jadis de la vase, qui a pris par la suite l'aspect de roches diverses, suivant sa composition et les diverses circonstances auxquelles elle a été exposée. Plus la matière suspendue mécaniquement dans l'eau était atténuée, plus le dépôt qui en résultait lorsque les circonstances permettaient la chute des détritus au fond de l'eau, devait être étendu et uniforme; dès lors on doit s'attendre, dans l'étude des terrains fossilifères, à voir les marnes, les argiles et les schistes marneux ou argileux, conserver leur uniformité de caractères sur des distances horizontales plus grandes que ne le font les grès, et ceux-ci être moins variables que ne le sont les conglomérats. Ces variations de structure des dépôts sédimentaires, sont un des points sur lesquels l'observateur doit porter toute son attention, en recherchant quelles sont les circonstances qui peuvent avoir donné lieu aux divers changements que l'on rencontre.

p. On trouve fréquemment dans les grès et les argiles des concrétions et des nodules sphériques ou sphéroïdaux, qui sont beaucoup plus durs que la roche dans laquelle ils sont disséminés. L'observateur remarquera si ces concrétions sont alignées parallèlement au plan de la stratification, ainsi qu'on l'a figuré en *a* (fig. 119), ou bien, si elles sont distribuées irrégulièrement dans

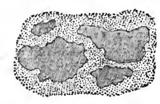
Fig. 119.



la roche. Il examinera si les nodules sont composés de couches concentriques ou de lamelles parallèles au plan des couches; il devra reconnaître si la matière en diffère de celle de la roche dans laquelle ils sont disséminés; si les concrétions peuvent ou non résulter d'une agrégation des molécules homogènes, telles que le carbonate de chaux, etc., qui se seraient séparées de la masse de la roche après son dépôt. Il arrive quelquefois aussi que ces concrétions s'étendent en forme de couches imparfaites, comme

en *b*, de manière que, lorsque l'on enlève la marne, l'argile ou le grès qui les recouvre, on a une série de masses irrégulières, aplaties, disposées dans un même plan, qui, vues d'en haut, ont l'apparence indiquée dans la figure 120, dans laquelle les parties

Fig. 120.



ombrées représentent les masses aplaties solides, et celles pointillées la roche encaissante. On devrait prendre note de tous les faits analogues qui peuvent conduire à des recherches théoriques importantes.[1]

q. On trouve plus ou moins fréquemment des calcaires de diverse nature alternant avec les roches ci-dessus, que l'on appelle *mécaniques*, d'après l'origine qu'on est conduit à leur assigner suivant toute probabilité. Quelques-uns de ces calcaires peuvent avoir été formés aussi par voie mécanique, tandis que d'autres doivent avoir été formés par suite de quelque changement chimique survenu dans l'eau qui tenait en solution le carbonate de chaux, de manière à ce que ce sel se déposât au fond de l'eau; on aurait un tel changement par la perte de l'acide carbonique, disséminé précédemment dans l'eau, à laquelle il donnait la propriété de dissoudre le carbonate de chaux. L'observateur examinera la compacité et les autres caractères de ces calcaires, et leurs relations avec les couches auxquelles ils sont associés. Il est des grès siliceux qui ressemblent tellement à certains calcaires, qu'il faut plus de soin pour les distinguer que ne pourrait le croire l'observateur qui n'a pas une grande habitude d'examiner des roches. Il est donc à désirer que l'observateur soit pourvu d'un petit flacon contenant un acide quelconque (l'acide muriatique est celui qu'on emploie le plus fréquemment), afin de pouvoir distinguer sur-le-champ la nature de la roche qu'il a sous les yeux. Les fabricants d'instruments de physique

[1] On trouvera des détails plus étendus sur l'agrégation des molécules homogènes dans les roches d'origine mécanique, dans les *Recherches sur la partie théorique de la géologie*, p. 65 à 70.

Digitized by Google

tiennent communément des flacons préparés tout exprès pour pouvoir transporter sur soi la quantité d'acide nécessaire.

r. Nous ne pouvons, sans sortir des limites que nous nous sommes proposées, suivre dans tous leurs détails les diverses modifications de structure minérale qui s'observent dans les roches sédimentaires, ni les associations de dépôts mécaniques et chimiques qui se voient dans la série des terrains fossilifères. On regarde quelques-unes de ces modifications comme caractéristiques d'une formation, et certes, elles fournissent des caractères d'une grande valeur, lorsqu'on tient compte de l'étendue de la surface sur laquelle ces caractères se soutiennent. Ainsi le calcaire bien connu sous le nom de *craie*, constitue un dépôt particulier, qui s'étend depuis le nord de la France et les îles Britanniques, par l'Allemagne et la Pologne, jusque dans la Russie d'Europe et d'Asie. Cependant cette variété de calcaire ne se trouve point exclusivement dans cette formation particulière, qui d'un autre côté se présente quelquefois sous un tout autre aspect que celui de la craie; en effet, il existe des dépôts que l'on a toute raison de croire contemporains de la craie blanche, et qui sont formés d'un marbre calcaire noirâtre, et même de grès siliceux. Un autre groupe de couches est appelé *oolitique*, parce que quelques-unes des couches de ce groupe sont formées, dans l'Europe occidentale, d'un calcaire composé de petits grains arrondis, souvent concrétionnés, qui ressemblent à des œufs de poisson. Cette structure n'est nullement bornée, cependant, au groupe en question; et il est bien des couches contemporaines aux oolitiques, qui offrent une structure toute diverse.

s. Nous sommes contraint de renvoyer aux traités de géologie pour les diverses modifications de structure minéralogique qui ont lieu dans les terrains fossilifères : nous devons nous borner ici à les signaler d'une manière générale à l'attention de l'observateur. On ne peut espérer d'arriver à la connaissance des causes qui ont donné lieu à ces modifications, qu'en étudiant avec soin les relations des diverses couches les unes par rapport aux autres, les changements de structure qui ont lieu sur des distances horizontales, et toutes les circonstances analogues. Nous nous abstiendrons d'engager l'observateur à s'occuper d'une série quelconque de faits plus particulièrement que d'une autre, crainte de paraître vouloir influencer son opinion sur des points qui restent encore douteux; l'observateur pourra conclure lui-même des différents faits qu'il aura lieu d'observer, si les terrains fossilifères ont été produits par des causes de même nature que celles qui agissent de nos jours à la surface de notre planète; ou bien s'il faut faire inter-

venir des causes douées d'une plus grande énergie, des causes d'une autre nature même, afin d'expliquer en tout ou en partie les divers phénomènes observés.

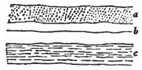
t. Nous arrivons maintenant aux débris organiques, sujet de la plus haute importance, et auquel cependant nous ne pouvons consacrer que quelques pages. L'étude des fossiles, qui était négligée entièrement jadis, est devenue, il y a quelque temps, une des branches principales de la géologie; son importance a augmenté à mesure que celle des caractères minéralogiques des roches tombait en défaveur; et aujourd'hui on est peut-être trop porté à attacher aux fossiles plus d'importance encore qu'ils n'en méritent, en négligeant entièrement les autres caractères des dépôts sédimentaires. Mais nous laisserons à l'observateur le soin d'apprécier la valeur des divers caractères des terrains fossilifères, d'après l'étude qu'il en fera lui-même dans le cours de ses observations. Nous lui conseillerons, lorsqu'il en aura l'opportunité, d'étudier dans les collections d'histoire naturelle les formes génériques des coquilles, des zoophytes et des végétaux que l'on trouve à l'état fossile; s'il pouvait être aidé dans cette étude par quelque personne à laquelle ces formes fussent familières, son œil serait bientôt habitué à reconnaître les caractères les plus importants des corps organisés fossiles.

Quant à la connaissance de toutes les petites différences que l'on suppose caractériser les diverses espèces, on ne peut l'acquérir que par une application suivie, et en comparant entre eux le plus grand nombre d'individus possible; en un mot, c'est là une science tout entière. Le géologue qui s'est occupé de l'étude de l'écorce du globe pendant un grand nombre d'années, peut bien acquérir peu à peu des connaissances suffisantes sur les espèces fossiles; mais c'est là un résultat de longues observations, et les jeunes observateurs devront se contenter de laisser la détermination des espèces aux géologues plus expérimentés, qui se sont occupés particulièrement de ce sujet, ou bien aux naturalistes qui se sont adonnés spécialement à la zoologie et à la botanique fossiles. On croit aujourd'hui que certaines espèces de coquilles caractérisent les terrains fossilifères contemporains sur de très-grandes distances; et comme ceux qui commencent à s'occuper d'une science, sont portés à admettre toutes les opinions du jour comme également bien fondées, il peut se faire que dans la hâte de déterminer un terrain quelconque, on croie y reconnaître des espèces qui ne se trouvent point en réalité dans la localité d'où elles proviendraient; voilà pourquoi nous conseillons aux commençants de s'en rapporter, pour la dé-

termination des espèces, à leurs devanciers. Nous n'entendons nullement entrer dans la discussion de la distinction à faire entre l'espèce et la variété; nous ne voulons absolument qu'éviter à nos lecteurs les erreurs dans lesquelles ils pourraient tomber en cherchant à établir des déterminations fondées sur des caractères si délicats, qui ne peuvent être saisis que par ceux qui en font leur étude habituelle.

u. L'un des premiers objets qui devront fixer l'attention de l'observateur, c'est la manière de laquelle les débris organiques se rencontrent dans un terrain quelconque. Cette étude et celle de la structure minéralogique des couches qui les contiennent pourront lui apprendre comment ont été enfouis les restes d'animaux et de végétaux qui aujourd'hui se trouvent à l'état fossile. Il devra examiner en premier lieu si ces débris offrent quelques signes d'avoir été roulés ou transportés de distances plus ou moins grandes, ou bien si leurs formes sont tellement conservées que l'on puisse conclure en toute sûreté qu'ils ont vécu et ont été enveloppés par la matière des couches à la place relative qu'ils occupent aujourd'hui. Supposons que dans la coupe suivante (fig. 121) les couches

Fig. 121.



a, *b* et *c*, sont l'une un grès, l'autre calcaire, et la troisième marneuse, et que chacune des couches contient des coquilles fossiles; mais que les coquilles du grès sont fracturées et usées par le frottement, tandis qu'elles sont parfaitement conservées dans le calcaire, et que dans la marne elles sont comprimées ou écrasées, quoique d'ailleurs entières. L'observateur sera en droit de conclure que les coquilles qui se trouvent dans le grès ne sont point à la place où ont vécu les mollusques dont ces coquilles sont les dépouilles; tandis qu'il peut en être tout autrement des coquilles que l'on rencontre dans le calcaire et dans la marne. Nous avons supposé en outre que les coquilles étaient comprimées dans la marne, tandis qu'elles conservaient toutes leurs formes dans le calcaire. On comprendra facilement qu'une telle disposition peut résulter de la pression exercée sur la marne par le poids des couches qui se sont déposées au-dessus. Dans le calcaire, au contraire, à mesure

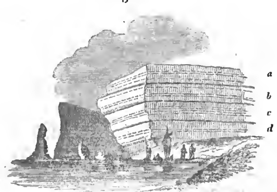
que les molécules s'en accumulaient, elles enveloppaient les coquilles d'une matière solide, résistante, de manière que le tout formait d'abord une masse compacte, dans laquelle les coquilles étaient à l'abri de toute compression ultérieure. Ce ne serait pas là le cas pour les coquilles enfouies dans la marne, que nous supposons, suivant toutes les analogies, avoir été d'abord à l'état de vase, de sorte que, lorsque cette vase a été comprimée par les couches supérieures, les coquilles ont dû en être écrasées sur place.

Il ne faut point conclure de ce que nous venons de dire, que les restes organiques que l'on trouve dans les grès doivent nécessairement être usés ou roulés, tandis qu'ils seraient toujours bien conservés dans les autres terrains; car souvent on trouve dans les grès des fossiles à un état parfait de conservation. Nous avons voulu seulement appeler l'attention de l'observateur sur l'état le plus habituel des fossiles dans les couches de diverse nature, et indiquer les rapports qui existent entre la nature minéralogique de ces couches et la conservation plus ou moins parfaite des restes organiques.

v. Il est à désirer que l'on tienne compte de tous les faits qui peuvent faire juger si les restes organiques animaux et végétaux, que l'on peut découvrir, ont été enfouis tranquillement sur place, ou bien s'ils ont été transportés par des courants d'eau qui roulaient à la fois, avec ces débris, des graviers, des sables et de la vase. Il serait difficile de concevoir que les calcaires aient été produits autrement que par un dépôt tranquille, si ce n'est ceux qui résultent d'une agrégation de molécules de carbonate de chaux, qui se seraient séparées de la vase après son dépôt. L'observateur ne se trompera donc guère en admettant que les diverses couches calcaires ont été respectivement déposées au fond d'une masse d'eau, et que tout changement dans les fossiles de ces couches provient d'un changement correspondant dans les espèces des animaux qui vivaient sur ce fond, aux restes desquelles seront venus se joindre accidentellement des débris d'animaux et de végétaux, charriés de distances plus ou moins grandes. Toutes les fois donc, qu'un observateur trouve une couche calcaire contenant des fossiles, il a devant lui une partie du fond d'une ancienne mer ou d'un ancien lac; à moins que la structure de ce calcaire n'indique qu'il a été produit par des incrustations successives de carbonate de chaux sur des gazons ou d'autres substances, incrustations qui auraient résulté de l'évaporation de l'eau qui tenait ce sel en solution, ainsi que la chose arrive fréquemment sur différents points des continents actuels.

Lorsqu'un observateur trouve que les fossiles sont disposés suivant des plans parallèles à la stratification générale du terrain, ainsi que dans le dessin ci-joint (fig. 122), dans lequel les lignes

Fig. 122.



interrompues, parallèles aux plans des couches, indiquent des plans marqués par des fossiles marins, il pourra conclure en toute sûreté qu'il a devant lui la coupe de plusieurs fonds successifs de la mer; que les fossiles de chaque couche se sont accumulés successivement sur ces différents fonds, et qu'ils y ont été recouverts tranquillement, un lit après l'autre, dans l'ordre de leur superposition relative. Afin de nous faire mieux comprendre, nous supposerons que l'escarpement est composé d'un grès silicéo-calcaire *a;* d'un grès siliceux à grains plus grossiers *b;* d'une marne ou argile *c;* et d'un grès argilo-siliceux *d.* L'observateur pourra conclure, à en juger du moins par cette localité, que le fond de la mer était d'abord un sable vaseux, puis de la vase, plus tard un sable grossier, enfin un sable contenant une grande quantité de carbonate de chaux disséminé. Ce seraient là les grands changements qu'aurait subis le fond de la mer dans laquelle s'est déposée la masse qu'il a devant les yeux; on pourrait, jusqu'à un certain point, juger des changements de second ordre, d'après le nombre des plans de fossiles qu'on distingue dans chaque couche.

Il est des dépôts, tels que les marnes et leurs analogues, dans lesquels l'accumulation des molécules détritiques très-atténuées, paraît s'être opérée avec une telle continuité, qu'il est très-difficile d'y distinguer les fonds successifs de la mer ou du lac sur lesquels se faisait le dépôt; dans ce cas, on peut quelquefois parvenir à

reconnaître ces fonds d'après les plans suivant lesquels sont distribués les restes singuliers d'excréments, auxquels on donne le nom de coprolites, et dont on doit la connaissance aux travaux de M. Buckland. Il peut arriver souvent, sur des fonds de vase, que les fossiles ne se déposent point suivant des plans, quelques animaux habitant dans la vase à différentes profondeurs, et les parties solides des mollusques, des poissons, des sauriens, etc., tendant aussi à s'enfoncer à des profondeurs variables, suivant leurs pesanteurs spécifiques relatives. Les excréments des poissons et des sauriens aquatiques peuvent s'être accumulés en abondance sur de tels fonds, et les avoir recouverts d'un lit de matière coprolitique; dont une partie peut bien, à la vérité, d'après sa plus grande pesanteur spécifique, s'être enfoncée plus que le reste, mais dont l'ensemble, pris en masse, recouvrira des surfaces dont l'étendue dépendra de celles qu'occupent les animaux marins. L'observateur aura lieu de reconnaître dans les diverses coupes des accumulations dont il s'agit, que l'état de choses que nous avons supposé n'est nullement improbable; il ne doit pas croire cependant que les coprolites ne puissent point se trouver isolés, car on en trouve ainsi très-communément.

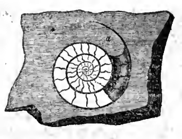
w. Lorsqu'on rencontre des débris organiques accumulés pêle-mêle, sans aucun ordre, sans aucune trace de parallélisme au plan des couches qui les renferment, on ne peut guère admettre que ce soient là des restes d'animaux ou de plantes qui auraient vécu au fond d'une mer ou d'un lac, où ces restes auraient été recouverts successivement par des dépôts tranquilles; ni que ces restes aient été charriés successivement, et déposés peu à peu sur le fond préexistant de cette mer ou de ce lac. Dans ce cas, il faut que l'observateur cherche à découvrir de quel point a pu être transportée cette masse mélangée de fragments organiques et inorganiques, en examinant la nature minéralogique des fragments de roches, et les comparant, ainsi qu'il a été indiqué plus haut, aux roches qui se trouvent en place à une plus ou moins grande distance.

x. En comparant les formes des différents fossiles qu'on a découverts jusqu'à ce jour, aux animaux et aux plantes qui existent actuellement, on a pu conclure que ces fossiles sont les restes d'animaux et de végétaux qui, comme ceux de nos jours, se partageaient en terrestres, fluviatiles, lacustres et marins. Il peut bien y avoir lieu à discussion quant aux points de détail; savoir, par exemple, si une espèce particulière doit ou non être considérée comme marine; mais rien ne paraît devoir faire révoquer en doute l'exactitude de la conclusion générale. Nous sommes contraint de ren-

voyer aux traités de géologie, pour les diverses indications que l'on a tirées de la nature et de la distribution des fossiles, sur l'état des différents points de la surface terrestre à des époques géologiques données. On trouve quelquefois des animaux et des plantes terrestres mêlés aux aquatiques; ce mélange à pu évidemment se faire de deux manières différentes. Il se peut que tous les fossiles aient été charriés à la fois dans une même masse d'eau courante, de laquelle ils se seraient séparés lorsque, sa vitesse diminuant, elle aurait perdu la force de les transporter plus loin; ou bien, les animaux et végétaux terrestres peuvent avoir été transportés, avec plus ou moins de violence, de la terre ferme dans la mer, au fond de laquelle les débris terrestres auraient été recouverts, ainsi que ceux des animaux marins, par les dépôts qui se seraient formés plus tard; on expliquerait de même le mélange d'animaux et végétaux terrestres avec les lacustres. Nous avons indiqué déjà (page 81) comment les restes organiques sont enfouis dans les dépôts qui se forment de nos jours; nous laisserons maintenant l'observateur juger par lui-même si les causes qui agissent de nos jours peuvent donner une explication satisfaisante des différents phénomènes qu'il aura lieu d'observer relativement à la distribution des fossiles dans les couches de l'écorce terrestre.

y. Lorsqu'un observateur découvre une coquille fossile, il devra noter quelle est sa position relativement au plan de la stratification de la couche dans laquelle se trouve cette coquille; car on est en droit de conclure que le plan de la couche était le plus souvent sensiblement parallèle à l'horizon lors de son dépôt. Si c'est une univalve, on peut avoir quelque difficulté à savoir si l'animal était vivant ou mort lorsque la coquille a été fixée dans sa position actuelle; quant aux bivalves, il n'est nullement probable que l'animal fût vivant si les deux valves sont ouvertes et parallèles au plan de la couche, soit d'ailleurs que la concavité en regarde vers le haut ou vers le bas. Si c'est une coquille chambrée, celle d'une ammonite, par exemple, ou d'nn nautile, on devra remarquer si elle est posée à plat ou quelle est sa position. On peut, jusqu'à un certain point, juger si l'animal, vivant ou mort, se trouvait dans la coquille au moment où celle-ci a été enfouie par la matière de la roche, d'après l'espace qu'a occupé cette matière à l'intérieur de la coquille. Supposons que la figure 123 représente la coupe d'une ammonite enfermée dans un fragment de roche, et que la première chambre extérieure, *a*, de la coquille ne soit remplie qu'en partie de la matière de la roche (d'un calcaire argileux, par exemple, comme celui qui est si fréquent dans le lias), tandis que vers l'intérieur

Fig. 123.



il y aura des chambres qui seront restées vides ou qui auront été remplies plus tard de carbonate de chaux cristallisé, ou d'autres substances ayant pu filtrer à travers la roche à l'état de solution aqueuse : on pourra conclure qu'il y avait un obstacle dans la première chambre de la coquille, lorsque celle-ci a été enveloppée par la matière de la roche, obstacle qui a empêché que cette matière ne remplît la partie intérieure de la cavité ; et l'observateur ne se tromperait probablement pas de beaucoup en pensant que cet obstacle était le corps de l'animal. Il pourra donc conclure que l'ammonite dont il s'agit a été enveloppée par la matière de la roche pendant que l'animal en était encore vivant, ou du moins avant qu'il n'eût le temps de se décomposer.

Si l'on trouve des échinites (communément appelés oursins), il faudra observer s'ils sont tournés la bouche en bas, comme ils se tiennent habituellement lorsqu'ils sont à l'état de repos : dans les espèces qui sont armées de longues pointes, on remarquera si ces pointes sont attachées encore au corps de l'animal ; car s'il en était ainsi, il paraîtrait probable que l'animal a été enveloppé par la matière de la roche pendant qu'il vivait encore, ou du moins avant que la décomposition de l'animal fût assez avancée pour que les pointes se détachassent du corps. On peut de cette manière, en observant si les parties solides des encrinites, des insectes, des poissons, des reptiles et des mammifères, sont encore dans la même position relative qu'elles occupaient lorsqu'elles étaient liées entre elles par les parties molles de l'animal, arriver à connaître plusieurs détails sur la manière d'être de ces animaux avant qu'ils fussent enveloppés par la matière de la roche. Si, par exemple, un observateur trouve, ainsi qu'il est arrivé, un saurien fossile dont tous les ossements sont à leur place respective, dans un ordre aussi parfait que pourraient l'être ceux d'un squelette dans

une préparation ostéologique, il est en droit de conclure que l'animal était vivant lorsqu'il a été enveloppé par la matière sédimentaire ; ou du moins que le dépôt de cette matière s'est opéré d'une manière assez rapide pour que les animaux de proie n'eussent point le temps d'en déplacer les ossements, ou que la décomposition des parties molles ne laissât ces ossements se détacher les uns des autres. L'état parfait de conservation de certains fossiles est véritablement un fait remarquable : les minces écailles qui recouvrent la peau des sauriens, se trouvent dans un ordre si régulier dans quelques échantillons d'ichtyosaures fossiles, que l'on croirait voir la peau même de l'animal. On a trouvé des contenus des intestins de poissons et de sauriens, non-seulement dans la position relative qu'ils devaient avoir dans le corps de l'animal, mais conservant encore la forme de l'intestin dans lequel ils étaient enfermés au moment de la mort de l'animal. M. Agassiz a trouvé que dans un grand nombre de poissons fossiles la capsule de la prunelle des yeux est parfaitement conservée.

Tandis que quelques-uns des restes organiques qu'on trouve dans les couches terrestres y sont à un état de conservation tout aussi parfait que les préparations d'un cabinet d'anatomie comparée, d'autres de ces débris sont épars sans aucun ordre, de manière à prouver que les parties molles en ont été décomposées, et les solides détachées et entraînées par les eaux, ou bien, que des animaux carnivores ont déchiré les cadavres de leurs proies et en ont dispersé les ossements. Quelquefois les ossements de mammifères terrestres sont recouverts d'huîtres fossiles ou d'autres animaux ayant des habitudes analogues ; l'observateur en conclura que ces ossements ont été transportés, dépouillés de leur chair, au fond de la mer ou d'un golfe à l'embouchure d'une rivière, où les huîtres auront pu les envelopper.

Il serait inutile d'insister davantage sur toutes les conclusions que l'on peut tirer de la manière dont les débris organiques se trouvent dans les couches terrestres ; les remarques précédentes suffisent pour prouver combien il importe d'observer correctement la manière d'être des fossiles. Nous ajouterons seulement, que tandis que certaines plantes fossiles ont évidemment été charriées lentement ou avec violence jusqu'à la position qu'elles occupent aujourd'hui, il en est d'autres qui percent plusieurs couches de suite ou s'élèvent verticalement, de manière à indiquer, suivant toute probabilité, qu'elles ont été enveloppées lentement à la place où elles végétaient, par la matière des couches dans lesquelles elles sont aujourd'hui contenues.

ƶ. Il nous reste à donner quelques avertissements sur la manière de recueillir les échantillons soit des roches sédimentaires, soit des fossiles qui y sont renfermés. On doit prendre les échantillons d'une roche à des profondeurs telles que les agents atmosphériques n'aient pu la dégrader, si l'on veut que ces échantillons donnent une idée véritable de la nature do la roche. Quelquefois la roche n'est presque point dégradée, et l'on peut en prendre de bons échantillons tout près de la surface; tandis qu'ailleurs ce n'est que par les travaux des carrières ou d'autres excavations artificielles qu'on peut arriver aux parties saines de la roche. L'observateur devra, dans les différents cas, choisir ses échantillons dans les localités les plus propres à donner une idée exacte des caractères des roches. Il est en outre à désirer qu'il recueille des échantillons qui indiquent les divers degrés de dégradation qu'ont subis les roches par suite de l'action des causes atmosphériques; ces échantillons devront nécessairement être pris à la surface même des couches ou tout près de cette surface. Les échantillons devront en général être choisis de manière à représenter la structure générale des roches; leurs dimensions dépendront du plus ou moins de facilité que l'observateur aura de les transporter. En tout cas ils doivent être d'un volume suffisant pour qu'on y retrouve les principaux caractères de la roche à laquelle ils appartiennent. Après les avoir recueillis, on les enveloppera avec soin dans du papier, en y joignant une étiquette contenant l'indication de la localité, ou bien on fera une marque particulière sur l'échantillon et sur l'étiquette, pour renvoyer au carnet des notes, dans lequel l'observateur écrira au fur et à mesure toutes les remarques particulières, qu'il accompagnera de coupes toutes les fois que la chose sera possible.

Lorsqu'un observateur trouvo dans une couche un reste do corps organisé, il devra l'en extraire avec soin et patience, de manière à le conserver dans son entier et le rendre utilo aux progrès de la science; faute de quoi l'échantillon pourra être entièrement perdu. Il est quelquefois impossible de réussir à enlever un fossile sans le dégrader; mais il faut au moins que l'observateur fasse tout son possiblo pour y réussir. Lorsque la structure d'un fossile est très-délicate, il ne faut point chercher à l'extraire sur place de la roche qui le contient; l'observateur devra au contraire tâcher d'enlever tout ce qu'il faut de la couche pour fairo commo un étui au fossile, quelles que doivent être d'ailleurs les dimensions de ce fragment. Que si malheureusement il s'apercevait avoir laissé dans la roche une partie du fossile, il devrait s'efforcer d'enlever encore ce reste, de manière à emporter avec lui tout ce qui existe du

Digitized by Google

corps organisé en question. Dans tous les cas il ne devra point nettoyer un fossile sur place, quelque aisée que la chose puisse lui paraître ; l'enveloppe de roche solide qui lui sert d'étui en rendra toujours le transport plus facile ; aussi les fossiles de diverses collections y sont-ils d'autant mieux conservés que l'on a pris moins de soin de les nettoyer avant leur arrivée au lieu même de leur destination.

Il arrive quelquefois qu'un fossile est tellement cassant, que les vibrations des coups donnés sur la roche qui l'enveloppe suffisent à le faire voler en éclats malgré toutes les précautions possibles. Si les éclats sont volumineux, on peut les marquer et les remettre ensemble plus tard ; mais nous conseillons à l'observateur, lorsqu'il voit qu'un fossile commence à se fendiller, de prendre de l'argile un peu ferme, s'il peut s'en procurer sur le lieu, et de la presser fortement sur l'ossement ou le débris organique quelconque qu'il cherche à extraire. Ce procédé nous a réussi fort souvent. Sans doute qu'il vaudrait mieux employer de la cire ou autre substance analogue ; et l'on peut en effet avoir avec soi un peu de cire pour empâter les échantillons d'un petit volume, mais la chose est impraticable avec les grands fossiles. Lorsqu'il s'agit de morceaux très-rares ou d'une grande importance, qui sont à découvert en partie, et dont la roche enveloppante est très-faible, il vaut quelquefois la peine de préparer du plâtre sur le lieu même et de couvrir le fossile (le squelette d'un poisson ou d'un saurien, par exemple) d'un enduit épais, de manière à ce que la partie découverte du squelette se trouve enveloppée dans un bloc de plâtre. On pourra alors enlever le fragment de la roche friable qui entoure le reste de l'animal, et on finira par avoir le squelette entier, contenu en partie dans du plâtre, dont on pourra facilement le débarrasser plus tard, si on le juge à propos.

Lorsque l'on rencontre des ossements épars, mais d'ailleurs bien conservés, il arrive souvent que l'on peut, en cherchant avec beaucoup de soin, restaurer une grande partie du squelette d'un animal quelconque ; de sorte que, si un observateur trouve un ossement isolé bien conservé, il ne devra point se hâter de conclure qu'il n'existe pas près de là d'autres parties du même squelette ; il devra au contraire examiner avec soin s'il ne trouve point d'autres ossements à peu de distance. Il est arrivé quelquefois que la première indication d'un squelette parfaitement conservé a été l'extrémité d'un petit ossement faisant saillie à la surface de la roche. Dans ces cas il est nécessaire d'avoir une connaissance générale de la structure du squelette qui est ainsi enseveli, si l'on veut l'extraire à un état de conservation passable ; quant à en ob-

Digitized by Google

tenir toutes les diverses parties, il faudrait connaître en détail l'ostéologie de l'animal. Un observateur qui débute dans la science ne peut donc espérer de réussir aussi bien que les personnes plus expérimentées; mais le premier saura au moins, par ce qui précède, que la rencontre accidentelle d'un petit ossement peut conduire quelquefois, si l'on sait y mettre tout le soin nécessaire, à la découverte d'un squelette tout entier. Dans plusieurs roches schisteuses il arrive que les fossiles, tels que des poissons ou des plantes, sont très-abondants entre les feuillets, mais comprimés jusqu'à une épaisseur si mince, qu'on ne peut guère les apercevoir dans une fracture coupant le plan des feuillets. Lors donc qu'un observateur a lieu de soupçonner qu'une roche schisteuse contient de telles empreintes de fossiles, il dovra chercher à frapper avec le marteau les fragments de la roche de manière à la débiter suivant le plan des feuillets. Il pourra recueillir de cette manière une multitude de plantes fossiles, dont il existait à peine quelque trace dans les fractures transversales de la roche.

Quant à la manière de transporter les fossiles, il faudra envelopper les petits et les plus délicats dans du coton et les placer dans de petites boîtes; on enveloppera les autres dans du papier, à moins qu'ils ne soient trop volumineux. On prendra les mêmes précautions que nous avons indiquées plus haut (page 183), relativement à la manière d'étiqueter les échantillons et noter les localités desquelles ils proviennent. Au lieu d'un sac, tel que ceux dans lesquels on a coutume de transporter les échantillons ordinaires, l'observateur trouvera un grand avantage à avoir un panier comme ceux dont se servent les pêcheurs à la ligne. Lorsque les échantillons sont volumineux et sujets à être brisés par toute secousse un peu brusque, tels que le sont le plus souvent les squelettes de sauriens contenus dans des roches schisteuses, nous recommandons particulièrement à l'observateur de ne point les faire voyager sur des voitures sans ressort, s'il peut s'en dispenser, et d'adopter autant que possible le transport par eau.

XXIII. *Terrains non fossilifères, dans lesquels on n'a point découvert jusqu'ici de débris organiques.* Nous avons indiqué déjà (p. 7) les caractères généraux de ces terrains : il ne nous reste ici qu'à donner quelques conseils sur la manière de les étudier. C'est leur structure minérale et leur ordre relatif de superposition qui doivent faire l'objet des recherches de l'observateur.

a. Nous renverrons encore une fois aux traités de géologie, pour ce qui concerne les noms que l'on a donnés aux diverses associations minérales qui appartiennent à la classe de terrains dont nous

allons nous occuper. On a supposé qu'il existait des couches d'origine en apparence mécanique, qui se trouvaient intercalées dans les terrains cristallins de la classe non fossilifère, que nous bornerons exclusivement ici aux terrains inférieurs au groupe fossilifère de la grauwacke ; l'observateur devra chercher à s'assurer de ce fait, quand il se trouvera étudier des terrains évidemment inférieurs à la grauwacke. Nous disons, *des terrains évidemment inférieurs à la grauwacke*, parce que dans certains districts dans lesquels, ainsi que nous le verrons par la suite, les couches ont subi des modifications, elles ressemblent quelquefois aux roches des terrains non fossilifères proprement dits, et alors on y trouve fréquemment des couches ayant conservé leur texture sédimentaire par suite des inégalités de l'action qui a modifié ces terrains.

b. Les couches non fossilifères subissent quelquefois, dans le sens de leur direction, des changements de structure minérale qu'il est fort intéressant de suivre. Supposons que l'observateur se trouve dans un district de terrains non fossilifères, dont la figure 124

Fig. 124.

O a b c d E f p

offre le plan ; supposons encore que les couches *a*, *b*, *c*, *d*, sont dirigées de l'Est à l'Ouest, et qu'elles plongent fortement au Sud. Nous imaginerons que l'observateur examine avec soin la côte occidentale, et qu'il trouve que les couches *a* sont de l'amphibolite, composée presque exclusivement de feldspath et d'amphibole, et partagées en un grand nombre de petites assises ; les couches *b* du micaschiste, composé de mica et de quarz ; *c* un gneiss, formé de quarz, de feldspath et de mica ; et *d* le même micaschiste que *b*. Après avoir étudié cette partie de la côte, supposons que l'observateur double le cap *p* pour arriver à la côte orientale, et qu'il trouve, ainsi qu'il s'y attendait d'après la direction des couches, que le micaschiste se continue jusqu'au point *f*, où il croira trouver le même gneiss qu'à la côte occidentale. Imaginons, qu'au lieu de trouver ce gneiss, le micaschiste continue vers le Nord tout le

long de la côte. Il pourra penser d'abord que les terrains de l'Est ont été rejetés vers le Nord par les effets de failles situées entre les deux côtes. Mais s'il continue à ne rencontrer que des micaschistes jusqu'à ce qu'il arrive au point auquel, si la direction des couches était constante et qu'il n'y eût point de failles, il devrait retrouver le micaschiste *b*, que nous supposerons caractérisé par une multitude de grenats, et qu'il l'y trouve en effet, l'observateur pourra commencer à croire qu'il y a quelque modification dans la masse du terrain non fossilifère, en suivant la direction des couches d'une côte à l'autre; et s'il trouve en outre que les couches *a* se terminent à l'Est en une roche schisteuse, composée, par exemple, de mica, d'amphibole et de feldspath, il aura tout lieu de se confirmer dans cette opinion.

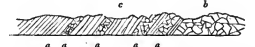
c. Dans de telles circonstances l'observateur devra traverser le pays entre les deux côtes et suivre, autant que possible, au moyen des coupes naturelles et artificielles qu'il pourra découvrir, les diverses masses *a, b, c, d,* d'une de leurs extrémités à l'autre, en notant les divers changements minéralogiques qui ont lieu peu à peu dans la nature de ces masses et dans le sens de leur direction. Il ne faut point conclure, cependant, de ce que l'on trouve des changements de structure minéralogique dans une ou plusieurs séries de couches, telles que celles *a, b, c, d,* que des changements analogues doivent se reconnaître dans toutes les assises de ces terrains; il arrive souvent que quelques-unes des assises sont très-constantes dans leurs caractères, malgré les changements que peuvent subir les couches auxquelles elles sont associées. C'est précisément en tenant un compte exact et détaillé de toutes les différences entre les modifications des couches que l'observateur peut espérer d'arriver à la connaissance des causes qui les ont produites.

d. Il est évident qu'il faut apporter le plus grand soin au choix des échantillons que l'on recueillera pour constater les changements qui peuvent avoir lieu dans la structure des couches. Des différences minéralogiques, en apparence fort grandes, peuvent souvent provenir de changements peu importants dans les proportions chimiques des éléments des roches. Cependant, comme les calculs que l'on a faits de la composition chimique des roches, ne sont qu'approximatifs, et que dans cette approximation on a admis que les minéraux cristallins qui composent ces roches ont la même composition chimique absolument que ceux dont on a fait l'analyse sur des échantillons parfaitement purs, il est à désirer que des chimistes habiles veuillent bien entreprendre de faire l'analyse d'échantillons pris dans les roches elles-mêmes. Le chimiste qui

choisirait un district composé bien évidemment des terrains qui nous occupent, qui noterait les divers changements minéralogiques qui y ont lieu dans le prolongement des couches, et qui analyserait avec soin les échantillons qui pourraient indiquer la nature même des roches (gneiss, micaschiste, etc.) et les changements que les diverses assises subissent d'un point à l'autre; ce chimiste, disons-nous, ferait faire de grands progrès à l'une des branches les plus importantes de la géologie.

e. On devra étudier avec attention les relations des terrains non fossilifères avec le granite, et avoir soin de ne point confondre des ramifications de cette roche avec des couches granitiques qui seraient intercalées dans ces terrains. On donne communément le nom de gneiss aux masses de granite aplaties n'ayant que quelques pieds d'épaisseur, qui se trouvent intercalées dans les micaschistes, les gneiss schisteux et autres assises analogues. Mais il est diverses considérations théoriques qu'il serait prématuré de rapporter ici, et qui exigent que l'on étudie en détail les relations de ces masses aplaties avec les terrains auxquels elles sont associées; il faudra noter particulièrement si, comme dans la coupe suivante (fig. 125), les assises ou masses aplaties granitiques *a*

Fig. 125.



augmentent en nombre et en épaisseur, à mesure que les terrains non fossilifères, *c*, approchent d'une autre masse de granite *b*, que l'on s'assurera n'avoir point été intercalée dans les terrains non fossilifères après leur formation.

f. Malgré que l'on admette en général, et probablement avec raison, qu'il n'existe point d'ordre constant de superposition parmi les terrains non fossilifères, l'observateur n'en devra pas moins prendre note de la disposition relative de ces terrains dans les districts qu'il étudiera; et il est à désirer particulièrement qu'il porte toute son attention sur la manière d'être du marbre cristallin ou des autres modifications de carbonate de chaux qui peuvent se trouver subordonnées à ces terrains. Il devra examiner si ce marbre cristallin ou ce calcaire quelconque forme un amas enclavé dans le micaschiste, le gneiss, etc., ou s'il passe à une autre roche par une disparition progressive du carbonate de chaux.

g. Dans une contrée composée de terrains non fossilifères, on devra observer si toutes les couches ou les masses ayant l'apparence de couches sont en stratification concordante les unes avec les autres, ayant toutes la même direction et le même plongement, ou bien s'il existe des discordances entre diverses séries de ces terrains : il faudra éviter toutes les illusions auxquelles on pourrait se laisser aller par l'existence de failles dans différentes directions.

h. Les relations entre les plus inférieurs des terrains fossilifères et ceux dont nous nous occupons dans ce moment, impliquent des questions d'une haute importance théorique; l'observateur devra donc s'appliquer particulièrement à l'étude des phénomènes de contact de ces deux classes de terrains. Il examinera surtout s'il y a passage de l'un à l'autre des groupes, et si ce passage existe, il reconnaîtra s'il a lieu par alternance des couches respectives des deux terrains, ou bien par un changement de texture des couches fossilifères inférieures, qui deviendraient de plus en plus cristallines.

XXIV. *Roches ignées, ayant été jadis à l'état de fusion.* Nous avons donné ailleurs (page 21) les caractères généraux de ces roches; nous nous bornerons ici, en conséquence, à indiquer la manière de les observer.

a. Dans différents pays, où il n'existe point aujourd'hui de volcans en activité, par exemple, dans le centre de la France et sur les bords du Rhin, l'observateur rencontre des monticules coniques de cendres et de lapillis, du sommet desquels divergent quelquefois des courants de laves plus ou moins scoriacées à leur surface; en un mot, il a sous les yeux un spectacle approchant de celui qu'offriraient le Vésuve, l'Etna ou tout autre volcan en activité, si cette activité venait à cesser, et que le pays se couvrît de végétation. On a donné à ces localités le nom de *volcans éteints,* quoiqu'il soit probable que de telles éruptions de cendres et de lapillis, accompagnées de courants de lave, aient eu lieu pendant une longue série d'époques géologiques antérieures à la présente, soit à l'air libre, soit sous des eaux peu profondes.

b. Les observations que nous avons conseillées (page 93) pour les volcans en activité, peuvent s'appliquer en grande partie à ceux que l'on est ainsi convenu d'appeler *volcans éteints.* Il est évident que les cratères, les cônes de cendres et de lapillis, et les courants de lave, qui ont été longtemps exposés aux dégradations opérées par les influences atmosphériques ou à l'action de masses d'eau en mouvement, auront perdu une plus grande partie de leurs caractères originaires que ceux qui, toutes choses égales d'ailleurs, ont eu à subir pendant moins longtemps les mêmes effets de dé-

gradation. En conséquence, plus un volcan éteint aura de ressemblance avec un volcan en activité dans ses moments de repos, plus on devra croire que ce volcan éteint est comparativement moderne. Mais cette conclusion n'est valable qu'autant qu'on suppose une action égale de causes égales sur des produits semblables et pendant un temps égal. Il faudra donc qu'un observateur remarque avec soin jusqu'à quel point le volcan éteint qu'il examine paraît avoir été exposé toujours à l'air libre. Si, par suite de quelque changement géologique dans le niveau relatif des terres et des mers, un volcan actuellement éteint a été formé sous une petite profondeur d'eau, puis émergé; ou bien encore, si un volcan, après avoir été en activité à l'air libre, a été exposé plus tard à l'action des marées, des courants ou des brisants; il est évident que les apparences actuelles de ces volcans ne pourront guère donner d'indices sur leur âge relatif. Prenons pour exemple l'île volcanique de *Sciacca*, qui a surgi en 1831 entre l'île de *Pantelleria* et la Sicile. On sait que les brisants ont balayé l'accumulation de cendres, de lapillis et de scories, qui s'était élevée pendant quelque temps au-dessus de la surface de l'eau, et sans doute le mouvement des vagues a démoli à quelque profondeur encore la base de cette accumulation; il en est résulté que le cratère a été complétement effacé, et le cône volcanique démoli en grande partie.

Supposons que ce volcan reste dorénavant à l'état de repos, et que, par suite de futurs changements géologiques de la surface terrestre, il se trouve un jour soulevé au-dessus du niveau de la mer. Si l'émersion se faisait lentement, le cône actuel serait de plus en plus dégradé par l'action des vagues, et il n'en resterait probablement guère autre chose que la lave refroidie qui peut se trouver maintenant dans la cheminée du volcan, et les divers courants qui peuvent en diverger. Nous n'avons certes aucune donnée pour croire qu'il existe de la lave dans cette cheminée, ou qu'il y ait eu des courants sous-marins de lave rayonnant autour du volcan; mais nous pouvons admettre une telle hypothèse pour rendre notre explication plus facile. Il n'y a point de difficulté à supposer que l'émersion du volcan de *Sciacca* ait lieu dans un espace de temps assez court pour que les volcans éteints d'Auvergne n'aient subi aucun changement sensible dans leur manière d'être actuelle. Il en résulterait qu'en prenant la démolition d'un cratère comme une preuve de la plus grande ancienneté d'un volcan relativement à un autre dont le cône serait à peu près parfait, il viendrait un temps où l'on serait obligé d'admettre que le volcan de *Sciacca* était de beaucoup plus ancien que la plupart des volcans éteints d'Auvergne.

Digitized by Google

c. On admet aujourd'hui que les roches ignées peuvent avoir été rejetées de l'intérieur de la terre, soit à la manière des produits volcaniques actuels, soit en grandes masses; l'observateur devra donc porter toute son attention sur les phénomènes qui peuvent l'éclairer sur l'origine des roches qu'il aura sous les yeux. On a donné le nom de *trapps* à diverses roches, telles que les grünsteins et autres, et ce nom nous paraît tout à fait convenable, pourvu que l'on ne veuille pas en conclure que ces roches ont toujours été épanchées en grandes masses et d'une manière toute différente de celle suivant laquelle les roches en fusion sont rejetées dans les volcans actuels, soit en courants de lave, soit en filons remplissant les crevasses du sol voisin. Nous sommes entré dans plus de détails que nous n'eussions dû le faire sur les changements qui s'opéreraient dans l'île de *Sciacca* lors de son émersion, changements d'après lesquels les seules parties plus résistantes seraient conservées, parce que nous croyons avoir reconnu des localités dans lesquelles des roches trappéennes ont été tellement recouvertes par des dépôts sédimentaires auxquels elles se mêlent en tout sens, sans que ces dépôts soient disloqués ni altérés dans leurs caractères minéralogiques, que la chose ne nous paraît guère pouvoir s'expliquer sans admettre que les parties incohérentes d'un volcan ont été entraînées par les vagues, et que des dépôts de sédiments ont ensuite enveloppé les parties solides qui avaient resisté à l'action de l'eau. Supposons qu'un observateur rencontre un massif d'une roche ignée quelconque, d'une forme à peu près elliptique, et de dimensions peu considérables, s'élevant au milieu d'un terrain de grès et de poudingues; qu'il ne trouve aucune trace de dislocation dans les couches de ce terrain, et qu'il n'y ait aucune apparence d'altération minéralogique dans les roches sédimentaires à leur contact avec le trapp, que l'observateur reconnaîtra dans des coupes naturelles ou artificielles du sol, telles que la figure 126, s'élever comme une colonne à travers les cou-

Fig. 126.

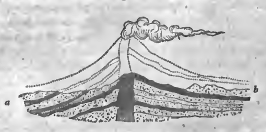


ches d'origine aqueuse, *bb*. Il devra examiner avec soin les cailloux du conglomérat, et s'il y trouve des fragments arrondis de la roche

ignée, il aura le droit de conclure que la masse trappéenne a été jadis isolée au milieu des eaux, et qu'elle a été entourée peu à peu par les couches de grès et de conglomérat, dont une partie des matériaux ont été fournis par la destruction de la masse ignée elle-même. Dans ce cas le trapp serait évidemment plus ancien que le terrain dans lequel il se trouve intercalé.

d. Nous avons essayé dans le paragraphe précédent de donner l'explication d'un phénomène assez compliqué, que nous avons représenté dans sa forme la plus simple; il arrive pourtant plus souvent dans la nature, que le phénomène se présente sous une forme plus compliquée. Supposons que la figure 127 représente la

Fig. 127.



coupe d'un volcan, dans la cheminée duquel s'élève une colonne verticale de lave, de laquelle se sont détachés à différentes époques des courants de lave plus ou moins inclinés, de telle sorte qu'après le refroidissement général le tout ne formait qu'une seule masse. Supposons en outre que la partie pointillée et non ombrée de la figure 127 représente des assises de cendres, de lapillis et de scories mêlées aux courants de laves, en une sorte de stratification irrégulière. Si des causes de dégradation agissant à la surface viennent entamer cette masse composée de courants de lave consolidés et d'assises de cendres, de lapillis et de scories, de manière que la ligne *ab* représente la surface du sol, on aura une sorte de colline trappéenne s'élevant au milieu de lits de conglomérats, de grès et autres; quelques-uns des courants de lave, vus à la surface du sol, pourront même avoir l'apparence d'assises trappéennes, intercalées parmi les couches de conglomérat et de grès. Ces effets seront considérablement modifiés si le volcan s'est fait jour sous la mer, et les modifications seront d'autant plus grandes que le volcan aura été recouvert par une plus grande hauteur d'eau. De tels effets, au reste, n'appartiendraient point exclusivement à une

seule époque géologique : ils seraient communs à toutes les périodes dans lesquelles les différents produits volcaniques pourraient prendre, par suite des causes intérieures, la disposition que nous avons indiquée dans la figure 127.[1]

Lorsqu'un observateur croit avoir sous les yeux une roche trappéenne quelconque, qui aurait été épanchée à la manière des courants de lave, ou qui proviendrait des restes d'un culot volcanique, il devra examiner d'abord si ce trapp est associé d'une manière ou d'autre avec des poudingues ou des brèches, et, dans ce cas, si ces roches contiennent des fragments du trapp. S'il lui était ainsi prouvé que de tels poudingues ou brèches sont d'une époque postérieure à celle de quelques-uns des trapps, il resterait à savoir si ces roches n'ont point été formées après toutes celles de la contrée. L'observateur devra se rappeler que les poudingues et brèches peuvent être formés de trois manières, soit autour des roches qui ont été jadis à l'état de fusion, soit dans les intervalles mêmes de ces roches; ils peuvent résulter de l'accumulation des cendres, des lapillis et des fragments de roche, vomis par le volcan dans l'atmosphère; ils peuvent avoir été formés moyennant l'action de l'eau dans le cas de volcans sous-marins; ou bien, enfin, ils peuvent résulter de l'action de ces deux causes à la fois. Dans les cas où l'action de l'eau a disposé en couches les substances volcaniques incohérentes, ces couches peuvent facilement contenir de la vase, des sables et des cailloux provenant de roches non volcaniques; et il peut en résulter que des fragments *anguleux* de roche trappéenne se trouvent associés dans une même couche à des cailloux *arrondis* de roches non volcaniques provenant de localités éloignées. L'observateur devra donc diriger toute son attention sur cette circonstance, et examiner avec soin si les fragments de trapp ne se trouvent que dans le voisinage immédiat de la roche trappéenne,

[1] Nous avons négligé un fait important dans cette description; c'est que les courants de lave seraient liés entre eux par des dykes s'élevant dans les fentes du cône du volcan; de sorte que la carcasse de lave d'un volcan, si l'on peut s'exprimer ainsi, se composerait, après que toutes les assises de cendres, de lapillis et de pierres rejetées auraient été enlevées, d'un tronc principal, duquel descendraient des courants inclinés de lave, donnant au tout une apparence conique; et ces courants inclinés seraient liés solidement entre eux par de nombreuses masses aplaties, approchant de la verticale, et tenant au tronc principal par leur partie inférieure. Sans doute que l'existence de ces dykes est un fait qui mérite toute l'attention; mais ç'aurait été trop compliquer un sujet déjà assez compliqué par lui-même, que de tenir compte de ces dykes dans l'explication que nous avons cherché à donner dans le texte de quelques-unes des apparences volcaniques.

et disparaissent à mesure qu'on s'en éloigne; de manière que le prolongement des conglomérats, lorsqu'il en existe, ne contienne plus que des cailloux ou fragments d'autres roches. Il essayera de découvrir s'il n'existe pas des traces de sables volcaniques dans ces couches subordonnées; et comme les courants de lave, lorsqu'ils sont assez puissants, peuvent modifier les roches sur lesquelles ils coulent, il cherchera à reconnaître s'il existe de tels signes d'altération dans les couches de marne, de grès ou de conglomérats, immédiatement inférieures aux masses de trapp, tandis que les mêmes modifications ne devraient point se retrouver dans les couches supérieures à ces trapps, qui n'auraient été déposées qu'après que le courant de lave aurait cessé de couler, faute d'une chaleur suffisante pour le tenir à l'état liquide.

Afin que l'observateur ne nous accuse pas d'avoir trop insisté sur des circonstances qu'on ne croit très-rares que parce qu'elles n'ont pas été examinées avec assez de soin, nous rappellerons que l'on peut observer des faits analogues à ceux que nous venons de décrire sur divers points du *Devonshire*, savoir : dans les environs de *Tiverton*, de *Silverton*, de *Kellerton Park* et de *Crediton*; et l'on a toute raison d'admettre qu'il existait dans ce district, à l'époque du nouveau grès rouge, des volcans dont l'activité aurait continué pendant le dépôt de toute la partie inférieure de cette série de couches, et que ces volcans étaient situés, par rapport à la mer, à peu près comme l'île de Sciacca. M. Murchison a reconnu des phénomènes dont il croit trouver l'explication dans des actions volcaniques contemporaines de la production de la grauwacke d'une partie du pays de Galles[1], et nous avons fait des observations analogues dans la grauwacke du Devonshire.[2]

e. L'action volcanique (c'est-à-dire les éruptions de cendres, de lapillis, de fragments de roches et de laves à l'état de fusion, dues à l'épanchement de gaz ou de vapeurs, et l'injection de roches à l'état liquide dans des fissures et d'autres cavités) peut avoir été en jeu depuis des périodes géologiques fort anciennes; mais il ne s'ensuit pas que les gaz et les vapeurs qui projetaient ces diverses substances aient toujours été les mêmes, ou que les roches volcaniques projetées aient toujours eu la même structure minérale. L'observateur n'a aucun moyen de reconnaître jusqu'à quel point les gaz et les vapeurs volcaniques des diverses époques ont pu être de nature différente; il ne peut qu'étudier

[1] *Proceedings of the Geological Society of London.* 1834.
[2] *Recherches sur la partie théorique de la géologie*, p. 270.

la structure minérale des roches dont la manière d'être peut lui faire présumer qu'elles ont été épanchées à la manière des laves actuelles. Il trouvera souvent des amygdaloïdes parmi ces roches, et, dans ce cas, la direction des cellules aujourd'hui remplies d'agates, de carbonate de chaux ou d'autres substances minérales, pourra lui indiquer la direction suivant laquelle coulait le courant trappéen, lorsqu'il était à l'état de fusion ignée ou au moins à celui d'une viscosité pâteuse. L'existence des vides de ces amygdaloïdes prouve que la roche n'a pas été exposée à une grande pression supérieure avant son refroidissement; et leur association avec d'autres roches trappéennes est par cela même un fait important. Nous avons vu quelques-unes de ces amygdaloïdes, associées avec des grünsteins dans les terrains de grauwacke, dans lesquelles les cellules étaient si nombreuses, que la roche devait ressembler à une ponce avant que les petites cavités n'en fussent remplies par des matières étrangères. Dans un cas particulier, à quelques milles au sud de *Launceston* dans le Cornouailles, la substance infiltrée, qui se trouve être du carbonate de chaux, est tellement abondante, et les parois des cellules si minces, que la roche a été exploitée avec profit comme pierre à chaux.

L'observateur devra examiner avec soin les différents caractères minéralogiques de ces roches supposées volcaniques, de différents âges, et il ne manquera pas de recueillir des échantillons de celles de ces roches qui paraissent dominer dans la formation; il examinera aussi si la structure minéralogique des roches varie considérablement d'un point à un autre de la même localité. Comme ce livre est destiné surtout aux personnes qui commencent seulement à s'occuper de géologie, nous leur rappellerons que la composition chimique de deux roches peut souvent être identique, tandis que leurs caractères extérieurs seront totalement différents; et qu'un fragment de grünstein peut être converti en une substance vitreuse analogue à l'obsidienne, en le fondant dans un four à réverbère et le faisant ensuite refroidir rapidement; que cette substance vitreuse peut repasser à l'état d'une pierre, si, après une seconde fusion, on la laisse refroidir lentement, et que la texture en devient d'autant plus cristalline que le refroidissement en est plus lent. Il s'ensuit qu'un observateur peut conclure que de deux roches ignées, de même composition, celle dans laquelle la texture cristalline sera le mieux développée, aura été un temps plus long à se refroidir, et, par conséquent, que les conditions dans lesquelles se trouvait placée cette roche, étaient telles à permettre cette grande lenteur de son refroidissement.

f. De ce qu'une roche trappéenne a été jadis très-celluleuse et convertie ensuite en une amygdaloïde par l'infiltration de matières étrangères, l'observateur ne doit pas se hâter de conclure que cette amygdaloïde, et les diverses roches trappéennes qui lui sont associées, ont nécessairement coulé à l'état de lave par un orifice volcanique; car la partie supérieure d'une roche trappéenne, épanchée en masse de l'intérieur de la terre, à l'état fluide ou visqueux, peut aisément prendre la texture cellulaire, lorsque la pression supérieure ne suffit point pour empêcher la dilatation des vapeurs et des substances gazeuses disséminées dans la roche.

g. Nous arrivons maintenant à ces roches ignées qui ne présentent ni en elles-mêmes, ni dans leur manière d'être générale, aucune apparence d'avoir coulé, à la manière des laves, par un orifice volcanique; tandis que tout semble prouver, au contraire, qu'elles ont été poussées de l'intérieur de la terre à travers des terrains préexistants, dans un état qui a pu varier depuis une grande liquidité jusqu'à une viscosité presque solide, et souvent en grandes masses. Prenons pour exemple ceux des granites proprement dits, qui ont évidemment pénétré à travers d'autres terrains. On ne peut rien citer jusqu'ici qui prouve que ces granites se seraient fait jour par quelque chose d'analogue à un orifice volcanique, tandis que plusieurs circonstances semblent indiquer qu'ils ont été poussés de bas en haut en grandes masses, déplaçant les terrains préexistants, dont les couches (lorsque ces terrains étaient stratifiés) ont été contournées et plissées à l'approche de la masse granitique. On peut en dire autant, dans plusieurs cas, des masses de serpentine, d'euphotide, de porphyre, de grünstein, etc. Au reste, nous ne faisons ici qu'indiquer à l'observateur des conclusions qui peuvent se déduire de faits connus. Nous ne chercherons nullement à faire prévaloir une opinion plus qu'une autre au sujet de l'origine des roches ignées; ce serait nous écarter du plan que nous nous sommes proposé dans cet ouvrage. Le lecteur ne considérera donc ce que nous venons d'en dire que comme une pure hypothèse, jusqu'à ce que ses propres observations l'aient mis à même de juger jusqu'à quel point cette hypothèse est fondée sur les faits.

h. Lorsqu'un observateur a sous les yeux une masse de granite, de serpentine, d'euphotide, de porphyre, de grünstein ou d'autres roches analogues, il ne devra pas se contenter d'examiner avec attention toutes les circonstances qui peuvent indiquer si ces masses ont coulé par des orifices volcaniques à la manière des laves, ou bien si elles ont été épanchées en grandes masses; il devra

rechercher en même temps s'il existe des filons partant de la masse principale de la roche ignée, et pénétrant dans les terrains adjacents; et si, dans ce cas, ces filons paraissent remplir des crevasses et des fentes de ces terrains. Il faudra aussi, en pareil cas, observer avec soin les changements progressifs de texture minéralogique de la roche; se rappelant que, si la matière ignée a été injectée dans les crevasses et les fentes des terrains préexistants avec lesquels cette masse s'est trouvée en contact, le même composé chimique qui se présente dans la masse principale avec une texture cristalline très-prononcée, peut, à l'extrémité d'un filon, se montrer avec une structure compacte, par la raison toute simple que dans ce dernier cas la substance ignée se serait refroidie plus rapidement que dans la masse principale. On aura soin de recueillir des échantillons de la roche à ses divers états de texture, afin de pouvoir en faire l'analyse.

i. Nous répéterons encore ici combien les chimistes pourraient faire faire de progrès à la géologie, en s'occupant de l'analyse de certaines roches. Nous avons calculé ailleurs[1] certaines différences et ressemblances qui peuvent exister dans la composition chimique de diverses roches ignées; mais nos chiffres ne sont que des approximations plus ou moins exactes, suivant l'exactitude des données sur lesquelles ils sont fondés, et il serait nécessaire que la véritable composition de ces diverses roches nous fût indiquée par un chimiste habile. Il n'y a point de doute que des roches ignées, composées des mêmes éléments chimiques, ont été souvent désignées par des noms différents, comme si elles n'étaient point, ce qu'elles sont réellement, de simples modifications d'une même masse de matière. Prenons, par exemple, un composé des éléments chimiques qui forment les substances minérales connues sous le nom d'amphibole et de feldspath, dans des proportions telles que, lorsque les deux minéraux peuvent se bien développer, chacun d'eux forme la moitié de la roche. Si ce composé est à grains très-fins, on l'appellera souvent basalte; si les grains des deux minéraux sont distincts, ce sera un grünstein; lorsque les grains sont plus volumineux encore, on a souvent donné à la roche le nom de syénite. Si les mêmes substances étaient disposées de manière à ce que l'un des minéraux, en cristaux plus ou moins parfaits, se trouvât disséminé dans une pâte composée des autres substances chimiques, la roche portera le nom de porphyre. L'observateur devra porter son attention sur ces divers changements de structure

[1] *Manuel géologique*, art. *Roches non stratifiées*. 3.e édition anglaise.

des roches ignées, et il lui arrivera souvent de reconnaître qu'ils ont lieu à de fort petites distances dans une même masse, qui a été évidemment épanchée ou poussée au jour d'un seul coup. On devra recueillir avec soin des échantillons de ces diverses roches, dont l'analyse pourra conduire à des résultats importants.

k. Dans les dykes (page 22), l'observateur devra pareillement examiner les changements de texture que peut présenter la roche. On a trouvé que la partie extérieure de certains dykes composés de grünstein passait quelquefois à la serpentine, lorsque ces dykes traversaient des calcaires. Les serpentines et les euphotides passent souvent aussi au grünstein, lorsqu'elles sont en grandes masses. On ne devra négliger aucune des circonstances qui se rattachent à ces divers passages.

l. La nature de la contrée doit guider en grande partie l'observateur dans l'examen des diverses circonstances qui accompagnent le contact des roches ignées entre elles et avec les terrains de sédiment; il serait donc difficile d'indiquer une manière générale d'observer ce genre de phénomènes. Cependant nous rappellerons à l'observateur qu'il doit porter plus particulièrement son attention sur les faits qui prouveraient que les roches ignées ont traversé ou disloqué la contrée en général, ou bien qu'elles ont été injectées entre les couches des terrains préexistants. Il doit être arrivé souvent que des roches ignées, qui se seraient fait jour par des fissures ou des orifices plus ou moins étendus, se soient répandues en nappes à la surface de la terre, et que le tout ait postérieurement été recouvert par un dépôt d'origine aqueuse. Supposons que dans la coupe suivante (fig. 128) *ab* représente une roche ignée

Fig. 128.

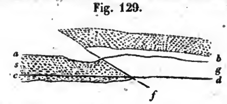


qui s'est épanchée par l'ouverture *c*, de manière à former une nappe à la surface du terrain préexistant *de*, et qu'après la consolidation de cette roche ignée, elle a été recouverte par un dépôt d'origine aqueuse plus récent, *fg*. La même disposition générale pourrait avoir lieu si la roche ignée *ab* s'était élevée à travers l'ouverture *c*, et que le terrain *fg* lui eût opposé une telle résistance, qu'elle se fût épanchée suivant la jonction des terrains *de* et

fg; il faut donc nécessairement que l'observateur examine dans le plus grand détail l'état de la surface inférieure du terrain *fg* et de la surface supérieure de celui *de*. Si ces deux surfaces offrent à la fois des accidents de structure minéralogique que l'on puisse en toute sûreté attribuer à l'action d'une roche en fusion sur des roches préexistantes, ou bien, si l'on trouve dans la masse ignée des fragments des terrains auxquels elle est intercalée, on aura le droit de conclure que la roche ignée *ab* a été formée après les terrains *de* et *fg*, entre lesquels elle a été injectée. Que si, au contraire, la surface supérieure du terrain *de* paraît seule avoir subi l'action d'une grande chaleur, et que la surface inférieure du terrain *fg* concorde parfaitement avec la surface supérieure du massif *ab*, de manière à faire voir que le dépôt *fg* s'est moulé dans toutes les petites inégalités de la roche ignée; si même le dépôt *fg* contient, comme il arrive quelquefois, de petits fragments de la roche *ab*, il sera évident que la masse ignée *ab* est plus ancienne que *fg*. Si maintenant on connaît la hauteur dans la série géologique des terrains *fg* et *de*, on saura par cela même l'âge relatif de la masse ignée *ab*.

m. Lorsque les coupes du terrain ne sont pas parfaitement évidentes, il ne faut point se hâter de décider de l'âge relatif d'une roche ignée. Supposons que dans la coupe ci-dessous (fig. 129)

Fig. 129.



ab représente la surface du sol dans un pays quelconque; *cd* une ligne au-dessous de laquelle on ne peut apercevoir aucune coupe du terrain; *s* un grès supra-crétacé, et *g* un granite; on pourrait croire au premier abord que le granite s'est épanché par-dessus le terrain supra-crétacé, et que par conséquent il est plus moderne que ce terrain. Cette conclusion serait cependant au moins prématurée, car le granite peut être extrêmement ancien, et avoir été recouvert, comme tout terrain ancien peut l'être, par un dépôt d'une formation de beaucoup plus récente; et une faille *f* (que nous n'avons pas représentée plus inclinée que beaucoup de failles ne le sont dans la nature) peut avoir relevé le granite *g* au con-

tact du grès *s*, dont le prolongement aura été enlevé par des actions postérieures, de manière que l'ensemble des phénomènes ait donné lieu à cette fausse apparence de superposition du granite sur le grès. Nous sommes entré dans cette explication, non parce que des faits analogues se présentent fort souvent; mais pour mettre l'observateur sur ses gardes relativement aux illusions que peuvent présenter quelquefois les dispositions relatives des roches ignées dont on voudrait déterminer l'ancienneté. Dans le cas de la figure 129, il faudrait chercher des preuves de l'existence d'une faille entre le grès et le granite, et voir si on ne découvrirait point, soit dans le prolongement de la ligne de jonction des deux terrains, soit dans quelque percement à travers le grès, que le granite lui est réellement inférieur sur d'autres points.

n. On croit généralement qu'à prendre la chose en grand, il y a eu un changement dans la composition chimique des roches ignées, depuis les périodes géologiques les plus anciennes jusqu'à l'époque actuelle, et que ces changements chimiques ont produit des changements correspondants dans la composition minéralogique de ces roches; en d'autres termes, que les roches épanchées ou poussées au jour à un état de fusion plus ou moins parfaite, dans les premiers temps de la planète terrestre, n'étaient pas composées précisément des mêmes minéraux que celles qui ont été produites de la même manière dans des temps plus récents. C'est pourquoi l'observateur devra mettre à profit toutes les occasions qui se présenteront de déterminer l'âge relatif des diverses roches ignées qu'il rencontre. Il arrivera à cette détermination en observant la manière d'être de ces roches relativement aux dépôts de sédiments. Lorsque l'on peut prouver qu'une roche ignée quelconque coupe les couches d'un terrain dont l'âge relatif est connu, ou bien, qu'elle repose sur ces mêmes couches, il est évident que cette roche ignée est postérieure aux couches qu'elle coupe ou sur lesquelles elle repose. Lorsqu'au contraire une roche ignée est recouverte, sans aucun signe de dislocation, par un terrain sédimentaire dont on connaît la date relative, on a la preuve que la roche ignée est plus ancienne que ce dernier terrain.

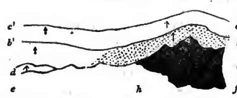
XXV. *Roches modifiées*. Il y a bien peu de dépôts d'origine mécanique qui n'aient point été modifiés jusqu'à un certain degré depuis l'époque de leur formation[1]; cependant on applique plus particulièrement le terme de *roches modifiées* aux parties de ces dépôts qui ont subi quelque changement dans leur structure mi-

[1] Voyez les *Recherches sur la partie théorique de la géologie*, p. 63.

nérale par l'effet d'une grande chaleur : bien entendu que cette chaleur n'a pas été assez intense pour produire une fusion complète des roches, et que, par conséquent, s'il s'agit d'un terrain stratifié, on peut y reconnaître encore les plans de séparation des couches, la chaleur n'ayant eu pour effet que de modifier la position relative des molécules composant la roche.

a. Lorsqu'un observateur croit avoir rencontré une roche modifiée, son premier soin doit être de suivre cette roche jusqu'à ce qu'il trouve des preuves non équivoques de sa nature véritable. Supposons que la figure ci-jointe (130) représente le plan d'une

Fig. 130.



contrée quelconque, et que l'observateur suit une ligne de côte *ef*, en allant de *f* en *e*; supposons en outre, que la masse *f* est un granite, et qu'en arrivant en *h*, il trouve au contact de ce granite une roche qu'il croit d'abord être un gneiss; mais qu'il soupçonne ensuite, en réfléchissant aux caractères géologiques généraux de la contrée, pouvoir être une roche modifiée. Il pourra suivre en premier lieu le gneiss supposé, tout autour de la masse granitique jusqu'en *b*; nous supposerons que dans cette course il trouve que les caractères de la roche sont constamment les mêmes, et qu'en outre il reconnaît des couches fossilifères *c*, qui reposent sur ce prétendu gneiss; il sera toujours encore incertain sur la véritable nature de cette roche, car de *h* en *b* il a suivi une direction dans laquelle, en supposant que la roche fût véritablement modifiée, les circonstances qui auraient causé cette modification étaient exactement les mêmes; il n'aura donc rien appris de plus, que si, en partant du point *h*, il s'était dirigé vers l'intérieur du pays, dans la direction du plongement du gneiss, pour voir quelles sont les couches qui reposent sur cette roche qu'il suppose modifiée.

C'est en allant vers *e*, le long des côtes, que l'observateur pourra, en s'éloignant du granite (que nous supposerons ne point se prolonger dans cette direction, même sous la mer), venir au clair de la nature de son gneiss supposé. Il devra suivre avec soin

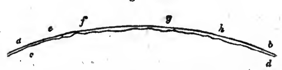
tous les changements qui ont lieu dans la nature minéralogique de la roche sur laquelle il marche, et bien observer s'il y a passage à une roche de nature diverse dans le prolongement des couches de la première. Supposons, par exemple, qu'il voie que les caractères du gneiss se perdent peu à peu, à mesure qu'il s'éloigne du granite, et que la roche passe à un schiste argileux; il cherchera si ce schiste contient des fossiles, et dans ce cas il pourra conclure que le gneiss *b* est une roche qui a été modifiée au contact du granite. Cette circonstance implique nécessairement que le schiste est plus ancien que le granite, et que celui-ci a été porté au contact du schiste étant à l'état de fusion ou du moins à une très-haute température. L'observateur devra donc, pour s'assurer de plus en plus que la roche *b* a été modifiée par l'apparition du granite, chercher tous les indices de la pénétration de celui-ci à travers les schistes.

Nous avons supposé dans la figure 130 que le prolongement de la roche modifiée dans la direction *e* était compris entre les terrains *c'* et *d*. Si donc la place de ces terrains dans la série géologique est déterminée, soit d'après leurs fossiles ou par toute autre circonstance, on connaîtra également l'âge relatif des couches modifiées *bb'*, et l'observateur saura que ces couches ont été modifiées et ont pris l'apparence d'un gneiss au contact du granite *a*.

Dans tous les cas, et quelle que soit l'échelle du phénomène, l'observateur devra chercher la preuve qu'une roche est modifiée, en suivant le prolongement de cette roche jusqu'à des points où elle se présente à son état initial, ou bien jusqu'à ce qu'il y trouve des fossiles qui se rencontrent également dans des terrains donnés de la contrée, ou qui se trouvent ailleurs dans des couches d'un âge déterminé; bien entendu qu'il existera, à une distance peu considérable de la roche modifiée, une cause quelconque qui aura pu produire cette modification.

b. Il ne suffit point de savoir qu'une roche donnée peut changer de texture, passer, par exemple, de l'état compacte au cristallin, pour en conclure que les parties cristallines d'un terrain sont nécessairement des roches modifiées. Il peut arriver facilement dans certains dépôts fort étendus, qu'une partie en soit formée par voie mécanique et une autre par voie chimique, et que celle-ci ait sur quelques points une texture éminemment cristalline. Supposons que l'arc *ab* (fig. 131) représente la surface de la mer sur une grande étendue, et *cd* le fond solide de cette mer. On concevra facilement qu'il puisse se faire sur ce fond un dépôt contemporain, qui sera du sable en *e*, de la vase en *f*, un calcaire compacte ou terreux en *g*, et

Fig. 131.

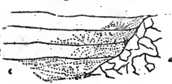


un calcaire cristallin en *h*, et même que de tels changements puissent se répéter plusieurs fois sur l'étendue *cd*. Que si le calcaire cristallin se déposait sur une roche ignée, et que le tout fût soulevé postérieurement au-dessus du niveau de la mer, on pourrait, faute de l'attention nécessaire, être tenté d'admettre que cette structure cristalline a été produite par la chaleur de la roche ignée, et que ce calcaire cristallin est une roche altérée.

Il est surtout nécessaire de procéder avec beaucoup d'attention lorsqu'on examine certaines dolomies (roches cristallines composées d'un carbonate double de chaux et de magnésie) et certains calcaires cristallins; car, quoique l'on ait souvent la preuve que ces roches résultent d'une modification, il est d'autres cas où les mêmes roches avec les mêmes caractères ont été évidemment formées dès leur origine telles qu'on les observe aujourd'hui.

c. Lorsqu'il résulte des faits observés qu'une roche est réellement modifiée, l'observateur devra étudier avec soin le genre de modification qui s'y est produit, et recueillir des échantillons, dont l'analyse chimique puisse faire connaître si les éléments de la roche modifiée sont les mêmes que ceux des parties de cette roche encore à l'état initial, ou si dans l'acte de modification il s'est introduit quelque substance étrangère dans les parties modifiées. En outre, lorsque plusieurs couches d'une structure minéralogique différente sont coupées par une même masse ignée, et que toutes ces diverses couches ont été modifiées, l'observateur devra examiner les modifications relatives de chacune des couches, et voir combien la nature minéralogique initiale de la couche a pu influer sur la distance à laquelle s'est étendue la modification. Soit *a* (fig 132)

Fig. 132.



une roche ignée qui est venue couper diverses couches *b*, *c*, *d*, *e*, qui diffèrent minéralogiquement les unes des autres, l'observateur devra examiner si, en tenant compte des diverses inflexions de la ligne de contact, les diverses couches sont modifiées jusqu'à des distances différentes, et, s'il en est ainsi, il devra reconnaître avec soin la structure minérale de chaque couche. Dans la figure 132 nous avons supposé et indiqué par des ombres pointillées, que la couche *e* a été modifiée jusqu'à une plus grande distance que les autres de la roche ignée, tandis que la roche *b* l'aurait été moins que toutes les autres.

d. Toutes les fois que l'on rencontre des dykes composés de roches granitiques, trappéennes ou volcaniques modernes, on devra examiner si les roches traversées sont modifiées aux surfaces de contact. C'est là le cas le plus fréquent, et on ne néglige ces effets que parce qu'ils ont lieu sur une petite échelle. Ces effets sont cependant extrêmement instructifs, et l'observateur devra même examiner si les roches traversées par le dyke n'ont point réagi sur la nature de la roche ignée elle-même. Nous avons indiqué déjà qu'une telle réaction peut se produire dans certaines circonstances l'a données, et il est probable qu'elle a lieu plus souvent qu'on ne remarqué jusqu'ici. Nous avons eu occasion d'observer, dans la nature et sur de grandes échelles, des changements dans la structure minéralogique des roches qui ne peuvent guère s'expliquer autrement que par une réaction de ce genre.

e. Il ne faut point supposer que les modifications de roches dont nous venons de parler soient limitées aux terrains sédimentaires. On peut quelquefois reconnaître des effets analogues lorsqu'une masse ignée en a coupé une autre plus ancienne. Les changements qui se produisent dans ces circonstances sont souvent du plus haut intérêt, et l'observateur devra s'appliquer à suivre tous les effets de ces phénomènes de contact.

XXVI. *Filons métallifères.* Nous ne comprenons sous ce nom, suivant l'usage ordinaire, que les filons qui contiennent des substances métalliques employées dans les arts. Cette définition est loin d'être exacte, puisque certains minerais métalliques, tels, par exemple, que les pyrites de fer, se rencontrent dans des circonstances où leur exploitation serait improductive, mais qui n'en expliquent pas moins quelques-uns des phénomènes des filons métallifères. Nous n'avons nullement l'intention de nous étendre au long sur un sujet aussi compliqué; nous ne ferons qu'appeler l'attention de l'observateur sur un ou deux de ses points les plus essentiels.

a. On admet aujourd'hui qu'un grand nombre de filons métallifères ne sont que des fractures ou des failles (page 145), dans l'intervalle desquelles les différents minerais métalliques ont été introduits plus tard; l'observateur portera donc toute son attention sur les diverses circonstances qui, dans cette hypothèse, devraient caractériser la position relative des côtés du filon et des substances qu'il contient. Il cherchera toutes les preuves de mouvement des parois, les stries de frottement, les fragments des roches adjacentes compris dans la fissure, et toutes les circonstances que nous avons indiquées ailleurs (page 146). Il fera bien, lorsqu'il en aura l'opportunité, d'étudier les phénomènes qui accompagnent l'existence des pyrites de fer dans les failles ordinaires, et de reconnaître jusqu'à quel point ces phénomènes diffèrent de ceux qui accompagnent ailleurs les minerais de cuivre ou d'autres métaux.

b. On a remarqué dans quelques pays de mines, et nous-même avons eu l'occasion de l'observer en personne, qu'un filon métallifère se trouvait courir à peu près parallèlement à une grande faille, et que le filon paraissait n'être qu'une crevasse contemporaine de la grande fracture qui avait disloqué le sol du pays. C'est encore là une circonstance sur laquelle l'observateur devra porter toute son attention.

c. Les substances métalliques se trouvent quelquefois former une sorte de réseau de veines nombreuses de minerai qui se croisent dans tous les sens. Quelques géologues ont cru que dans ce cas les minerais métalliques étaient contemporains de la consolidation de la roche qu'elles traversent, tandis que d'autres pensent qu'il s'est formé pendant cette consolidation une multitude de petites fentes, dans lesquelles se sont introduites plus tard les substances métalliques. L'observateur ne se laissera influencer par aucune de ces théories, mais il examinera scrupuleusement tous les faits relatifs à cette manière d'être des minerais métalliques.

d. Certains métaux se trouvent disséminés dans les roches en grains qui ont le plus souvent la forme de petits cristaux. L'oxide d'étain se rencontre ainsi quelquefois dans le granite, et on a trouvé de l'or disséminé dans certains porphyres. L'observateur cherchera à distinguer dans ces cas si les métaux disséminés ont cristallisé contemporainement à la formation de la roche, comme les pyrites de fer qui sont épars dans les trapps, ou bien, si cette cristallisation est postérieure à la roche, comme il est arrivé pour les mêmes pyrites qui se trouvent dans les marnes, les argiles et les schistes d'origine mécanique. Il devra aussi reconnaître si les grains métalliques ne résultent point d'une destruction d'anciens

filons métallifères, à la suite de laquelle ces grains auraient été transportés dans les autres détritus, jusqu'à ce que le dépôt de toutes ces matières donnât lieu à une nouvelle roche sédimentaire.

e. La masse des faits qui s'observent journellement rend de plus en plus probable l'opinion qui fait provenir les métaux des filons des roches mêmes qui les encaissent[1]. L'observateur devra donc porter toute son attention sur la manière d'être de ces roches à l'approche des filons, et examiner s'il y a quelque différence minéralogique entre la roche qui fait la surface des parois des filons et cette même roche à quelque distance de ces filons. Lorsque de telles différences ont lieu, l'observateur se procurera des échantillons de la roche dans ses divers états, afin de pouvoir en faire plus tard l'analyse chimique.

f. On a reconnu dans tous les pays de mines, qu'à prendre la chose en grand, un même filon métallifère varie plus ou moins, suivant les différents terrains qu'il traverse, et souvent aussi, dans un même terrain, suivant la composition minéralogique des diverses parties de ce terrain, ou suivant leur degré de dureté. L'observateur devra tenir compte de la nature de ces changements, et noter jusqu'à quel point les mêmes caractères du filon correspondent à une même structure minéralogique de la roche encaissante. Ce sera par une accumulation de faits authentiques de cette sorte qu'on arrivera à quelque chose de positif sur la théorie générale des filons.

g. On remarque souvent des faits importants à l'intersection des filons métallifères entre eux, surtout en ce qui concerne la nature des métaux et leur association, et le *rejet* du plan général de l'un des filons. On devra observer avec la plus grande attention, dans ce dernier cas, s'il existe quelque analogie entre le croisement des filons et celui des failles, lorsque la continuité d'une série de failles est dérangée par le *rejet* qui se produit au croisement de cette série avec des failles d'une série différente.

h. On a remarqué que les filons métallifères sont surtout abondants à la jonction des terrains stratifiés avec les roches ignées qui ont pénétré à travers ces terrains; l'observateur aura soin, en conséquence, lorsque des filons coupent à la fois les deux terrains, de noter la distance jusqu'à laquelle les caractères des filons et l'abondance du minerai se soutiennent de chaque côté de la ligne de contact entre les terrains stratifiés et les non stratifiés.

[1] Nous invitons le lecteur à comparer ce que l'auteur dit ici sur le remplissage des filons, avec les opinions exprimées par M. Fournet dans ses Études sur les dépôts métallifères, publiées à la suite du Traité de géologie de M. d'Aubuisson. (*Note du traducteur.*)

Digitized by Google

TROISIÈME PARTIE.

Applications de la géologie dans les arts.

I. *Agriculture.* Il n'y a point de cultivateur un peu intelligent qui, dans un pays formé de couches d'une nature minéralogique diverse, ne sache, jusqu'à un certain point, par sa propre expérience, que la fertilité du sol végétal dépend de la nature du terrain que ce sol recouvre. Le fait en lui-même est familier à tout agriculteur, quoique le plus souvent il ne sache point se rendre compte des raisons de ce fait. Or, c'est précisément la connaissance de ces raisons qui fait qu'un géologue, qui aura étudié la structure minéralogique du terrain d'un pays quelconque, pourra dire que le sol végétal de ce pays sera plus favorable, toutes choses égales d'ailleurs, à un genre de culture qu'à un autre. Il est des cas où les lignes de séparation des diverses cultures correspondent précisément à la ligne de séparation des terrains; l'expérience ayant prouvé aux agriculteurs que le sol végétal qui recouvre les divers terrains est plus ou moins adapté à une certaine culture déterminée. La division que l'on fait ordinairement, à la campagne, des terres en *fortes, légères, froides,* etc., tient à la nature des couches dont ces terres recouvrent la surface.

Le terreau végétal résulte des portions désagrégées du terrain qui le supporte, mêlées à quelques fragments décomposés des végétaux qui ont cru à sa surface, et à quelques substances animales provenant soit des animaux qui sont venus se nourrir des produits végétaux du sol, soit des restes des insectes et des vers qui y ont vécu, et de la décomposition des restes de grands animaux, qui peuvent avoir péri à la surface du sol, et dont les cadavres n'ont pas été dévorés en entier par les animaux de proie.

La stabilité du sol végétal dépend de la position relative qu'il occupe (si, par exemple, il est situé sur les pentes rapides d'une colline ou sur une plaine presque horizontale); du plus ou moins de porosité ou d'imperméabilité à l'eau du terrain qui le supporte (d'où il suit que le terreau végétal peut ou non être entraîné par

les eaux lors des grandes pluies); du climat général du pays, surtout en ce qui regarde la quantité de pluie qui peut y tomber dans un temps donné; et de la nature et quantité de la végétation qui le recouvre, et qui, suivant les circonstances, le garantit plus ou moins contre les diverses causes qui tendent à le déplacer.

Il est des végétaux qui croissent sans que leurs racines pénètrent dans le sol; mais tout le monde sait que ce n'est là qu'une exception qui ne s'applique nullement aux plantes cultivées par l'homme, soit pour sa propre nourriture, soit pour celle de ses animaux domestiques. Si nous considérons les feuilles comme les poumons des végétaux, les tiges comme leur corps, et les racines comme leur bouche, il est évident qu'une plante ne peut point trouver la même nourriture dans deux terreaux qui varient essentiellement dans leur composition. Ainsi que les animaux, les plantes prospèrent, traînent une existence misérable ou périssent, suivant la nourriture qu'on leur fournit; et si un agriculteur veut faire croître une espèce de plante donnée dans une localité où elle ne peut se procurer la nourriture pour laquelle ont été construits ses différents organes, il est impossible que cette plante prospère. Maintenant, de même qu'un aliment quelconque convient à certains animaux et non à certains autres, de même le sol qui nourrira certains végétaux, pourra ne convenir nullement aux autres. Il s'ensuit qu'il faut qu'un agriculteur connaisse la nature du sol qui convient le mieux à la plante qu'il veut cultiver; et puisque la nature du sol dépend surtout de celle du terrain qui le supporte, et dont les fragments désagrégés constituent principalement ce sol, il faut de toute nécessité qu'un bon agriculteur soit à même de distinguer la structure minéralogique et la manière d'être générale du terrain dont il cultive la surface.

Les substances minérales qui entrent dans la composition des roches ne sont pas très-nombreuses, et tandis que les unes se désagrégent facilement, les autres conservent presque indéfiniment leur structure originaire. Ces deux qualités sont également précieuses dans la formation du terreau végétal; les fragments non désagrégés permettent la circulation libre de l'air et de l'eau à travers les molécules du terreau, tandis que les parties désagrégées des roches s'unissent de différentes manières aux plantes, ou bien elles en modifient la nourriture. Ainsi un mélange de silice sous forme de sable est souvent fort utile dans le sol, tandis qu'une proportion convenable de carbonate de chaux tend, d'un autre côté, à neutraliser les acides acétique et autres, dont la présence pourrait nuire à la végétation. On a donné le nom d'*humus* à la matière

végétale et animale qui se trouve mêlée avec les parties minérales du sol. La nature des roches ne peut contribuer que d'une manière indirecte à la formation de l'*humus;* mais on concevra facilement que, plus une roche fournira de substances minérales désagrégées dont le mélange puisse contribuer à une végétation riche et vigoureuse, plus la formation d'un humus abondant à la surface de ces roches deviendra facile. Et ce ne sera pas seulement la partie végétale de l'humus qui s'accroîtra ainsi, mais cette riche végétation attirera une masse d'insectes, de reptiles, d'oiseaux et de mammifères, qui trouveront nourriture et abri dans cette végétation, et qui, à leur tour, fourniront un humus animal tout aussi abondant que le végétal. Ce raisonnement *à priori* est appuyé par les faits, car on trouve que sous un même climat, et toutes choses égales d'ailleurs, le mélange minéral le plus favorable à une végétation riche et vigoureuse, est celui qui se trouve associé, dans un terreau naturel, avec la plus grande quantité relative d'humus.

Nous renverrons aux traités d'agriculture quant aux rapports qui existent entre les différentes variétés du sol végétal et les plantes qui croissent sur chacune de ces variétés; nous nous contenterons ici d'indiquer la relation qui a lieu entre la nature du sol et celle de la roche qui le supporte. Personne ne s'attendra, certes, à ce que *toutes* les plantes cultivées par les agriculteurs prospèrent également sur la craie de l'est de l'Angleterre, sur les marnes et les grès bigarrés du centre et de l'ouest, et sur la grauwacke du *Devonshire*, du pays de *Galles* et du *Cumberland*. Nous ferons observer cependant que la fertilité ou la stérilité du sol tiennent à la nature minéralogique des roches et non à leur âge géologique. Cependant la structure minéralogique des roches d'une même formation est assez constante entre certaines limites, pour que, connaissant cette structure sur une étendue quelconque d'une formation, on ne doive point trouver de différences bien essentielles, sous ce rapport, sur le restant de la surface qu'elle recouvre. Ainsi, l'agriculteur qui examine une bonne carte géologique, dont l'étendue ne soit point trop considérable, peut compter qu'à la surface de chacune des roches indiquées sur cette carte, il trouvera, à circonstances égales d'ailleurs, un sol d'une même nature générale. Si l'on parvient, ainsi qu'il faut l'espérer, à rendre les cartes géologiques plus détaillées, par l'adoption de certains signes qui indiquent la structure minéralogique des roches des différents terrains, l'agriculteur trouvera dans ces cartes perfectionnées des données bien plus importantes encore.

a. Un sol composé des mêmes substances minérales a une valeur

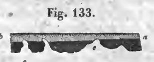
toute différente en agriculture, suivant qu'il est humide ou sec; l'observateur devra donc examiner les diverses circonstances qui peuvent donner au sol plus ou moins d'humidité. En faisant abstraction, pour le moment, du régime général des eaux d'un pays quelconque, la sécheresse du sol dépend, si la quantité de pluie et l'évaporation sont d'ailleurs égales, de la facilité avec laquelle l'eau peut pénétrer entre les diverses molécules du sol, et cette facilité, ainsi que nous l'avons dit plus haut, tient à la nature minérale des roches. Les grès donnent lieu en général, ainsi que l'on doit s'y attendre, à un sol fort sec; mais ce n'est pas là le cas pour toutes les roches arénacées. Le ciment qui lie entre elles les molécules de sable, est quelquefois si alumineux et si abondant que, lorsque la roche se désagrège, la matière argileuse l'emporte de beaucoup sur le sable, et il en résulte des terres tenaces et fortes. Lorsque l'observateur trouve qu'un terreau sec recouvre la surface d'une roche poreuse et sableuse, il pourra, si on le désire, remédier à cette siccité en cherchant un moyen de conserver l'humidité naturelle du sol aussi longtemps qu'il peut être convenable; car, une fois que l'humidité aura pénétré jusqu'à la roche, elle en sera promptement absorbée. Il faudrait donc ajouter au terreau végétal lui-même, soit une substance qui, absorbant facilement l'humidité de l'atmosphère, puisse la fournir ensuite aux végétaux; soit une matière minérale qui, liant plus fortement entre elles les molécules du sol, permette à une beaucoup moins grande quantité d'eau d'arriver, en un temps donné, jusqu'à la roche poreuse qui l'absorbera. Le terreau qui se forme à la surface d'une telle roche, doit être considéré comme offrant à sa partie inférieure un libre écoulement aux eaux.

Lorsque la siccité résulte de la désagrégation d'une roche qui n'absorbe point facilement l'eau, il faut beaucoup de précautions dans le choix des substances à ajouter au sol, afin de le rendre plus humide. L'observateur trouvera en général que dans ces circonstances le terreau végétal est peu épais et sujet à être entraîné par les grandes pluies. L'eau s'y écoule facilement, lorsque les traits physiques du pays s'y prêtent, et le sol est bientôt entièrement sec par suite de l'évaporation. C'est une chose intéressante à observer que l'excellent effet que produisent en pareil cas les petits cailloux qui souvent sont épars à la surface, en conservant dans le sol l'humidité, qui sans cela se perdrait par évaporation. Il arrive souvent qu'il y a une différence frappante entre les récoltes de grains de deux terres voisines, lorsqu'un des agriculteurs a enlevé les cailloux de la surface du sol et que l'autre les a laissés

en place, et l'avantage est du côté de ce dernier. On peut même ajouter qu'il y a des sols tellement poreux qu'ils ne conserveraient point assez d'humidité pour rapporter au propriétaire les frais de labourage, s'ils n'étaient pas couverts d'une grande abondance de pierres éparses. Dans les pays élevés ces pierres peuvent en outre condenser les brouillards et les nuages, et ajouter ainsi à l'humidité du sol qu'elles recouvrent.

b. Les terres sont humides ou fortes, lorsque la roche qui les supporte leur fournit une grande quantité de matières argileuses. La roche est souvent, dans ce cas, ou de l'argile même, ou une roche argileuse passant facilement à l'état d'argile, lorsqu'elle s'imbibe d'une quantité d'eau suffisante. Dans un tel état de choses, le sol végétal est supporté par une assise imperméable à l'eau, et l'on peut prévoir facilement les effets qui s'ensuivront. Un tel pays est assez peu fertile de sa nature; mais il arrive cependant quelquefois qu'une couche d'argile est recouverte par un sol fertile, dû à la désagrégation d'une couche d'une nature minéralogique favorable. La couche d'argile ou de toute autre substance imperméable à l'eau, pourra, si le sol n'est pas très-épais, y entretenir une telle humidité, qu'il en soit tout à fait impropre au genre de culture auquel on voudrait le consacrer. L'observateur devra dans ce cas examiner l'épaisseur de la couche imperméable et la nature de celle qui la supporte. Si l'argile n'est point trop épaisse, et que la couche inférieure soit poreuse, il pourra juger, d'après le relief du pays, s'il vaut mieux percer l'argile sur plusieurs points et creuser des rigoles qui conduiraient l'eau surabondante jusqu'à ces percements, ou bien faire écouler les eaux à la manière ordinaire. Lorsque l'on a un plateau élevé fort étendu, coupé çà et là par des vallées profondes, le premier mode d'écoulement serait probablement le plus économique, quoiqu'on ne l'ait peut-être jamais mis en pratique, excepté par un effet du hasard. Nous avons vu des parties d'un plateau, dont le sol *a* (fig. 133), fertile, quoique contenant

Fig. 133.



beaucoup de gravier, était supporté par une argile tenace, *b*, être délivrées de leur humidité surabondante par un procédé naturel, analogue à celui que nous venons de suggérer : des mamelons de craie *cc*, perçant l'argile sur différents points, pour se

rendre dans le sol végétal, les portions du sol voisines de ces mamelons étaient desséchées par la propriété bien connue de la craie, d'absorber l'humidité, tandis que les parties de la surface trop éloignées de la craie pour en sentir l'influence, étaient humides et couvertes de terres fortes.

D'après le même principe, si un agriculteur trouvait trop dispendieux et trop difficile de faire écouler par la voie ordinaire les eaux d'un sol supporté par de l'argile, et que le pays dont on voudrait faire écouler les eaux fût situé comme en *a* (fig. 134), il est

Fig. 134.



évident que si l'on peut faire arriver l'eau jusqu'à la couche poreuse *cc*, en perçant l'argile *bb* sur plusieurs points, cette eau tendrà à filtrer à travers la couche *cc* et à ressortir en sources dans les vallées *vv*, si la couche *cc* est supportée par une couche imperméable à l'eau, *dd*. Que si l'eau ne se trouvait point ainsi arrêtée, elle continuerait à filtrer vers l'intérieur de la terre. C'est d'après des observations géologiques bien faites que l'on pourra prévoir ce qui arrivera dans les différentes circonstances.

c. Lorsqu'un observateur trouve des terres fortes produites par la désagrégation de roches d'une grande dûreté, telles que certains grès et schistes du groupe de la grauwacke, ou autres couches d'une structure minéralogique analogue, quel que soit d'ailleurs leur âge géologique, il devra examiner la stratification des couches qui fournissent les matières principales du sol; car la possibilité d'améliorer les terres dépend en grande partie de la disposition de ces couches. Supposons que la figure 135 représente la

Fig. 135.



coupe d'une série de couches dont la désagrégation donne lieu à des terres fortes et argileuses, que les couches soient horizontales en *a*, contournées en *b* et fortement inclinées en *c*; supposons, en

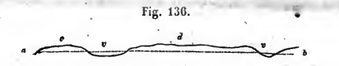
Digitized by Google

outre que les roches soient imperméables à l'eau, comme le sont en général les couches qui fournissent un sol argileux, et qu'il s'agisse de rendre le sol plus léger sur toute la surface *abc*, on aura des chances toutes diverses de réussite en *a* et en *c*; car en *a* les couches horizontales arrêteront l'infiltration de l'eau au-dessous du sol, tandis qu'en *c* les intervalles des couches faciliteront au contraire l'absorption de l'eau surabondante. Si donc on parvient artificiellement à alléger le sol de telle sorte que l'eau puisse filtrer jusqu'à la tranche des couches en *c*, et que l'on ouvre le long de la séparation do ces couches des rigoles que l'on aura soin de ne pas laisser combler par les particules d'argile, on pourra rendre le sol infiniment plus sec qu'auparavant. Si un observateur étudie la nature des terres sur deux points différents d'un pays composé de couches de même nature, et que sur l'un des points les couches soient horizontales, tandis qu'elles seront fortement inclinées sur l'autre, il trouvera souvent que le sol sera très-humide sur le premier des deux points, et beaucoup plus léger sur l'autre, par la raison toute simple quo les eaux s'écoulent facilement à travers les séparations des couches redressées, et qu'elles sont arrêtées par l'imperméabilité des couches lorsque celles-ci ont conservé la position horizontale.

d. Un géologue pourra être convaincu qu'il se trouve une roche poreuse à peu do distance au-dessous d'une couche imperméable, tandis que l'agriculteur ne connaîtra la nature du terrain que jusqu'à la profondeur des fossés qu'il a l'habitude de creuser dans ses travaux. Celui-ci pourra cependant se procurer des connaissances qui lui seront très-utiles dans la pratique, en consultant de bonnes cartes géologiques construites sur une grande échelle; il y verra d'abord l'étendue *en surface* qu'occupent les diverses roches; puis les coupes, qui doivent toujours accompagner ces cartes, lui feront connaître la manière d'être relative do ces roches au-dessous du sol. Qu'il consulte ensuito les mémoires explicatifs de la carte et des coupes, et, en combinant les détails qu'il trouvera sur la structure et la composition des roches, avec la position de ces roches, indiquée, soit par les coupes, soit par la carte, il aura, sans s'embarrasser des questions qui ont trait à la haute géologie, autant de connaissance sur les roches inférieures au sol végétal dans un district donné, qu'il pourra le désirer pour bien diriger ses travaux d'agriculture, quand même les auteurs ne se seraient nullement occupés, en construisant les cartes et les coupes ou en écrivant les mémoires, des applications à l'agriculture des diverses données géologiques qui y sont contenues.

e. Un agriculteur peut même tirer parti, pour l'écoulement des eaux, de la connaissance des failles, qui souvent traversent toute une contrée. Quelques-unes de ces fissures ou dislocations sont perméables à l'eau, et servent de canaux d'écoulement pour des surfaces étendues, ainsi que les mineurs ont dû l'apprendre à leurs dépens dans les pays de mines. D'autres failles sont remplies d'argile ou de substances analogues, qui empêchent le passage de l'eau d'un côté à l'autre de la fente : cette circonstance a été surtout mise à profit dans quelques districts houillers; car les intersections de plusieurs de ces failles circonscrivent quelquefois un massif dont on peut facilement pomper l'eau qui, ne communiquant point avec celle des massifs voisins, ne peut s'y renouveler une fois épuisée. Ce n'est évidemment que les failles non remplies d'argile qui peuvent servir à l'écoulement des eaux de la surface. Dans le cas même où de telles failles donnent lieu à des sources d'eau abondantes dans les vallées qu'elles traversent, elles peuvent être utilisées pour l'épuisement des eaux des plateaux qui sépareraient ces vallées, ainsi qu'on le comprendra par la coupe suivante (figure 136). Soit *ab* une ligne de niveau, à la hauteur de laquelle

Fig. 136.



une faille retient des eaux qu'elle déverse en abondance dans les vallées *vv*, qui coupent la surface des plateaux jusqu'au-dessous de la ligne *ab*. Si la faille traverse les plateaux *cd*, l'eau qui y arrivera, soit naturellement ou artificiellement, tendra à filtrer jusqu'au niveau *ab*, quelle que soit d'ailleurs la hauteur relative de cette ligne, au niveau de laquelle les eaux sont soutenues dans la faille.

f. Puisque la nature des terres dépend surtout de la composition minéralogique et de la structure des roches qui les supportent, les agriculteurs pourront tirer de grands avantages du mélange de diverses roches, pour produire un sol plus fertile que celui qui se trouve naturellement à la surface de chacune des roches. C'est là ce qu'on appelle en agriculture *marner* des terres, opération que l'on regarde comme très-avantageuse, lorsque la marne est à portée du sol qu'il s'agit d'améliorer. Dans cette opération, l'agriculteur ne fait qu'ajouter à ses terres des substances minérales que ne leur aurait point fournies la désagrégation de la roche qui les supporte. Il est plusieurs autres mélanges de roches qui pourraient être très-utiles

en agriculture, surtout lorsque les roches à combiner entre elles sont voisines, soit d'un point à l'autre de la surface du sol, soit à peu de profondeur l'une au-dessous de l'autre. Quelques-uns de ces mélanges se produisent naturellement à la ligne de jonction de deux roches, et il nous est arrivé, en parcourant certains pays dans un but purement géologique, de nous étonner que les agriculteurs ne se donnassent point la peine de rechercher les causes de la fertilité extraordinaire d'une bande étroite du sol, fertilité qu'ils auraient pu communiquer aux parties voisines en imitant le procédé qui leur était ainsi indiqué par la nature.

Il ne peut exister naturellement de carbonate de chaux dans les terres qui proviennent de roches qui ne contiennent aucune partie calcaire, ou du moins le carbonate de chaux d'un tel sol ne pourrait provenir que des coquilles terrestres qui auraient vécu à la surface. Or, il existe des terrains étendus qui ne contiennent pas un atome de carbonate de chaux, surtout dans certaines parties des groupes inférieurs; et comme le carbonate de chaux est une substance très-importante pour le rapport des terres, l'agriculteur se trouve nécessairement intéressé à en ajouter aux terres qui n'en contiennent point ou pas assez. Le *chaulage*, ou le mélange de la chaux dans les terres, est une opération si commune, que nous nous abstiendrions d'en parler, si nous n'avions vu souvent des agriculteurs en surcharger leurs terres, sans aucun égard à la composition minéralogique de leur sol, ou à la proportion de substances minérales qui serait le mieux appropriée à la nature des plantes qu'ils veulent cultiver. On dirait que le plus grand nombre des agriculteurs croit que toutes les plantes doivent recevoir une même nourriture, et que ce qui convient à une espèce végétale doit nécessairement convenir à toutes les autres.[1]

[1] Dans le nord-ouest du Devonshire on a un exemple curieux de la pratique générale d'ajouter aux terres certaines substances minérales, sans que ceux qui font ce mélange aient la moindre idée de la nature de ces substances. Le terrain de ce pays appartient au groupe de la grauwacke, et se compose de couches arénacées compactes et de schistes, qui pour la plupart ne contiennent point de calcaire, tandis que la silice et l'alumine y abondent. Le pays en général est loin d'être fertile et il rapporte bien peu de chose au cultivateur. Or on a l'habitude d'y apporter du sable pris sur la côte de la mer, qui est souvent à plusieurs milles de distance, et le mélange de ce sable améliore de beaucoup le sol. On croit généralement dans le pays que le sable agit en rendant le sol plus léger, quoique les cultivateurs sachent parfaitement que tout autre sable ne produirait pas le même effet. Le fait est que le sable qu'ils vont chercher sur les côtes de la mer est en grande partie et souvent presque en entier du carbonate de chaux provenant de la trituration des coquilles rejetées sur la plage

g. Puisque des roches de même composition minéralogique donnent par la désagrégation de leur surface des sols équivalents, l'observateur devra porter son attention sur les diverses plantes qui prospèrent le plus sur chaque sol, eu égard d'ailleurs au climat du lieu de l'observation. Plusieurs recherches locales ont commencé, pour ainsi dire, à poser la base de cette nouvelle étude, que l'on pourrait appeler *botanique géologique;* mais jusqu'à présent on n'a point déduit de conséquences générales de ces travaux particuliers. Cette étude doit avoir nécessairement le plus grand intérêt pour les agriculteurs. On a reconnu, par exemple, que certaines plantes ne réussissent que médiocrement lorsqu'elles sont cultivées sur certains terrains. Ainsi le piment de la Jamaïque n'est cultivé avec profit que sur la formation de calcaire blanc, qui occupe une partie de cette île. Il est d'autres genres de culture qui, quoique réussissant jusqu'à un certain point sur toutes sortes de terrains, donnent pourtant un profit beaucoup plus grand lorsqu'on les met en pratique à la surface d'une certaine roche particulière. Les sols d'alluvion eux-mêmes sont très-différents sous ce rapport, et il doit en être ainsi, puisqu'ils résultent, pour ainsi dire, du lavage de la surface de terrains qui peuvent différer essentiellement dans leur composition minéralogique.

Il est des terres que l'on déprécie souvent, parce qu'elles ne sont point propres à tous les genres de culture qu'on voudrait leur appliquer. Ainsi le granite de l'ouest de l'Angleterre fournit un sol dont on ne fait aucun cas, et sur lequel certainement un grand nombre de plantes ne sauraient prospérer; cependant on trouve que les pommes de terre y réussissent fort bien. Ainsi le pays granitique voisin de *Moreton Hampstead,* dans le *Devonshire,* produit les meilleures pommes de terre qui viennent au marché d'*Exeter,* quoique plusieurs points de la contrée soient célèbres pour ce genre de produit : mais nous ne nous étendrons pas davantage sur ce sujet. L'observateur sera forcé à chaque instant de remarquer le rapport qui existe entre le sol végétal et la roche qui le supporte, et les notes qu'il prendra à ce sujet lui donneront plus de lumières qu'on ne pourrait le faire ici, en entrant dans tous les détails possibles.

II. *Routes.* Les frais nécessaires pour la construction d'une nouvelle route ou pour l'entretien d'une route déjà établie, dépendent surtout, on le sait bien, de la nature du terrain, de la facilité avec laquelle

par les brisants. Ainsi les cultivateurs ajoutent, sans s'en douter, la substance minérale qui manque à leur sol, et dont le mélange peut seul donner à leurs terres une certaine fertilité.

on peut se procurer des pierres convenables, et de la stabilité des diverses tranchées que l'on peut être obligé de faire dans les roches. Mais on ne sait pas aussi généralement que ces diverses circonstances dépendent de la structure géologique d'une contrée, et que ce n'est qu'en connaissant cette structure, que l'on peut déterminer si une nouvelle ligne de route quelconque sera plus coûteuse qu'une autre; si, lorsqu'il s'agit de remettre en état une ancienne route, il ne serait peut-être pas plus économique, en dernière analyse, d'en établir une entièrement nouvelle, et si, ayant à sa portée des pierres de diverse nature, il y en a que l'on doive employer de préférence à d'autres. L'argent que l'on dépense inutilement en Angleterre, faute de bien choisir les matériaux des routes, monte tous les ans à des sommes considérables. Nous avons vu des cas où l'on allait chercher des pierres pour une nouvelle route à plusieurs milles de distance, tandis que l'on avait sous la main des matériaux plus convenables. Il se peut qu'il n'existât point encore de carrière où l'on exploitât ces matériaux; mais toute personne qui aurait eu une teinte de géologie, aurait pu indiquer la place où il convenait d'en ouvrir une.

En général on n'a égard, en traçant les routes, qu'aux différences de niveau et aux distances, et le moindre avantage sous ce rapport fera préférer une certaine ligne, tandis que la connaissance géologique du pays indiquerait que les frais d'établissement et d'entretien d'une route un peu plus longue et plus inégale, seraient beaucoup moindres. On peut tirer grand parti, dans ces cas, de bonnes cartes géologiques, qui mettent à même de juger au premier abord quels sont les terrains que traverserait une nouvelle ligne de route, et qui indiquent en même temps les localités qui peuvent fournir des matériaux pour son établissement.

a. Lorsque l'on ouvre une tranchée dans un terrain stratifié, on doit se rappeler que l'on peut arriver à couper une ligne de sources qui causerait de grands dommages à la nouvelle route; ou bien encore, qu'après avoir traversé par mégarde une couche entière très-solide, on peut se trouver établir la route sur une assise d'argile ou d'autre roche incohérente, ce qui nécessitera de grandes dépenses pour affermir le sol. Toutes les fois que l'on fait de grandes excavations pour abaisser les sommités de certaines collines, l'observateur devra examiner la nature des roches, et construire les talus des escarpements de manière à ce qu'ils soient proportionnés à la facilité qu'auraient ces roches de se désagréger par suite des actions atmosphériques, et de manière à ce que des éboulements ne viennent jamais empêcher l'écoulement des eaux.

b. En choisissant les matériaux pour les routes, on devra se rappeler que les pierres y sont exposées non-seulement à une action de frottement, mais encore à l'écrasement occasionné par le poids des lourdes voitures qui rouleront sur ces routes; il faut donc choisir des substances qui soient à la fois dures et tenaces. Or, les roches diffèrent infiniment les unes des autres, sous ce rapport; et les personnes qui ont fait quelque attention à la nature des pierres que l'on emploie sur les grandes routes, doivent avoir remarqué combien il arrive souvent que les voyers préfèrent des pierres plus dures, lorsqu'ils pouvaient s'en procurer des tenaces à tout aussi peu de frais. Ainsi dans le sud-ouest de l'Angleterre, où l'on a également à sa disposition des silex de la craie et des cherts du grès vert, il est curieux de voir combien on préfère les premiers pour l'entretien des routes. Les roches composées de substances ayant un degré différent de ténacité, sont de beaucoup inférieures à celles dont la texture est uniforme; ainsi les granites en général sont beaucoup moins utiles comme matériaux pour les routes que ne le sont la plupart des roches trappéennes. Les rues non pavées de Londres, qui sont entretenues suivant la méthode de Mac-Adam, montrent combien le granite se pulvérise facilement par le passage continuel des chevaux et des voitures. Ces rues sont bientôt poudreuses ou boueuses, suivant la saison. On a récemment fait venir à Londres des pierres de trapp pour mac-adamiser quelques nouvelles rues, et il n'y a aucun doute que ceux qui ont fait cet essai ne trouvent qu'il y a économie à employer le trapp de préférence au granite, malgré que les frais d'établissement soient plus considérables, car on verra de combien celui-ci est moins durable que l'autre.

Les granites dans lesquels le feldspath est bien cristallisé sont les plus mauvais que l'on puisse employer pour l'entretien des routes, car ce minéral se pulvérise bientôt sous la pression des voitures, tandis que les granites dans lesquels domine l'amphibole et dont le feldspath est compacte sont de beaucoup préférables. Les roches trappéennes varient considérablement comme matériaux propres à l'entretien des routes, puisque la même carrière fournit souvent des échantillons qui diffèrent sous le rapport de la ténacité. Il est des grünsteins qui sont précieux sous ce rapport, tout comme certaines euphotides et hypersthénites. Lorsqu'on n'a pas d'instrument plus convenable, on peut vérifier la ténacité relative des pierres en les pilant dans un mortier de fer avec un fort pilon. On n'a qu'à prendre des échantillons ayant les dimensions ordinaires des fragments que l'on emploie sur les routes, et piler les différents échantillons les

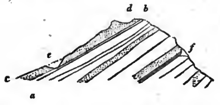
uns après les autres, et l'on jugera facilement quels sont les meilleurs. On a inventé des machines pour vérifier la supériorité relative des pierres employées sur les routes, et il n'est pas difficile en effet d'en construire qui indiquent la ténacité de ces pierres avec une grande précision. En employant des matériaux d'une ténacité convenable, non-seulement on diminue les frais d'entretien d'une route, mais on évite en outre les retards des voitures et la fatigue que des empierrements trop souvent renouvelés causent aux chevaux qui ont à traîner des fardeaux sur cette route avant qu'elle ne soit bien établie.

c. La différence de durée des roches, provenant de diverses couches, est si considérable, que les personnes qui sont chargées de fournir les matériaux pour les routes devraient absolument se familiariser avec la direction et le plongement des couches de la contrée, si toutefois les terrains y sont stratifiés. On éviterait par cette simple application de la géologie la plus élémentaire beaucoup plus de dépenses inutiles que ne le croient probablement les personnes qui ne se sont jamais occupées d'un pareil sujet.

d. Dans tous les cas, et soit qu'il s'agisse de terrains stratifiés ou de roches massives, on devra éviter d'employer comme matériaux pour les routes les roches de la partie supérieure d'une carrière, qui ont été plus ou moins longtemps exposées aux actions atmosphériques, et qui par conséquent n'ont plus la même valeur que les parties de la roche qui n'ont pas été exposées aux mêmes causes de dégradation.

e. Lorsque l'on doit tracer une route autour d'une colline composée de roches stratifiées, il faut étudier avec soin le plongement des couches et leur structure générale; sans quoi l'on peut s'exposer inutilement à des dépenses considérables. Supposons que la figure 137 représente la coupe d'une colline composée de couches qui plongent

Fig. 137.



vers *c*; et que *cd* est une couche de grès qui repose sur une argile molle *ab*. Si maintenant on fait une coupure à la surface du sol en *e*,

on détruira la continuité de la couche *cd*, et la partie supérieure *d* tendra à glisser en bas et à recouvrir la coupure *e*. Si, au contraire, on fait la tranchée pour la nouvelle route en *f*, où nous supposerons également une couche de grès supportée par de l'argile, il ne se produira aucun effet de glissement analogue à celui qui aurait lieu du côté opposé de la colline. Il s'ensuit que non-seulement dans des cas analogues à ceux de la figure 137, mais encore dans tous les terrains schisteux dont les feuillets et les couches sont peu adhérents entre eux, et dont le plongement est considérable, il faut de préférence tracer les routes du côté d'une colline sur lequel les couches ou feuillets plongent vers l'intérieur, comme en *f*.

III. *Canaux*. La connaissance géologique d'une contrée n'est pas moins nécessaire, lorsqu'il s'agit de tracer la ligne que doit suivre un canal, surtout si l'on doit percer des souterrains. Cette connaissance peut faire prévoir, jusqu'à un certain point, le plus ou moins de probabilité de rencontrer des sources souterraines; la porosité ou l'imperméabilité à l'eau des couches à traverser, et la nature des roches que l'on aura à percer. Aussi les personnes qui sont appelées à tracer des lignes de canaux ne sauraient-elles assez consulter de bonnes cartes géologiques. Ces cartes indiquent d'ailleurs les différentes substances minérales qui pourront être transportées avec profit par le nouveau canal. C'est par suite de connaissances de cette nature que l'on a souvent fait passer des canaux à portée de pays où l'on exploite de la houille, des calcaires ou des métaux divers.

Il arrive souvent que les canaux deviennent beaucoup plus coûteux qu'on ne s'y attendait, par cela seulement que quelques-unes des roches que l'on a à traverser absorbent facilement l'eau, et qu'il faut nécessairement employer des sommes considérables pour rendre imperméable le lit du canal. Lorsque l'eau d'un canal n'est pas abondante, c'est une difficulté sérieuse que d'avoir à traverser une certaine étendue de roches poreuses; mais cette difficulté peut être vaincue quelquefois, si l'on a des données suffisantes sur la structure géologique de la contrée que le canal doit traverser, car l'ingénieur pourra alors tracer ses plans de manière à éviter autant que possible la roche poreuse. Il faut se rappeler que la connaissance de la constitution géologique de la surface même d'une contrée ne suffit point pour indiquer les roches que le canal devra couper à une certaine profondeur au-dessous de cette surface, à moins que l'on n'ait en même temps des coupes qui indiquent la superposition des diverses roches, de sorte que l'ingénieur puisse juger quelle roche il trouvera probablement à une profondeur donnée au-dessous d'un point

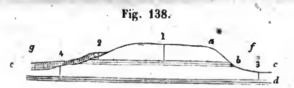
Digitized by Google

donné. On peut avoir à la surface du sol une argile très-imperméable à l'eau, qui repose sur un grès poreux; il pourra arriver alors qu'en suivant le niveau des eaux on arrive à couper l'argile, de sorte que le lit du canal se trouve sur le grès.

IV. *Puits.* Le géologue observateur saura facilement juger s'il existe quelque probabilité de trouver de l'eau en creusant dans des localités données. Les forages les plus importants sont ceux des puits que l'on appelle *artésiens*, dans lesquels on perce verticalement le sol jusqu'à diverses profondeurs, de manière à avoir des eaux jaillissantes en grande abondance à la surface dans des pays où l'eau est d'ailleurs rare ou de mauvaise qualité. Quoique les puits artésiens soient intimement liés avec les recherches géologiques, nous sommes forcé ici de les négliger[1], et de ne parler que des puits ordinaires, si communs dans tous les pays.

a. L'observateur, ne tenant point compte des sources qui se font jour à travers des failles, ou qui jaillissent en nappes plus ou moins abondantes des cavités des couches calcaires ou autres roches caverneuses, n'a qu'à se rappeler que les sources plus fréquentes résultent de l'infiltration de l'eau à travers des couches poreuses, jusqu'à ce qu'elles soient arrêtées par une assise imperméable; et il pourra juger de la facilité plus ou moins grande avec laquelle on pourra se procurer de l'eau en creusant des puits dans un pays quelconque. Supposons que la figure 138 représente la coupe d'une

Fig. 138.



colline formée d'un grès siliceux poreux *a*, d'une assise d'argile *b*, d'un grès poreux et un peu calcaire *c*, et d'une autre argile *d*; supposons en outre que dans la vallée *f* ces roches sont à découvert, tandis qu'en *g* le fond de la vallée est recouvert d'un gravier poreux. Dans cet état de choses, pour se procurer de l'eau à la sommité de la colline, il faudrait percer un puits dans le grès *a* et arriver nécessairement jusqu'à l'argile *b*, qui arrête l'eau de pluie qui s'infiltre à travers le grès *a*. La hauteur de cette eau sera probablement indiquée par une ligne de sources dans la vallée *f*; mais

[1] Voyez, pour les détails sur les puits artésiens, *Penny Cyclopædia.*

les sources qui se feraient jour de même dans la vallée *g* (nous supposons les couches horizontales pour rendre notre explication plus facile) seront cachées par le gravier *e* et filtreront entre ce gravier et l'argile jusqu'au grès *c*. De cette manière un puits creusé en 2 à travers le gravier rencontrera la nappe d'eau du puits 1, qui s'écoule en sources dans la vallée *f*, tandis qu'un puits ouvert en 3 fournira l'eau qui est arrêtée par les couches argileuses *d*, et cette eau sera probablement d'une qualité différente de celle de la nappe supérieure aux couches *b*, puisqu'elle aura traversé des roches d'une composition différente. Pour arriver à la même nappe d'eau, dans la vallée *g*, il serait nécessaire de percer le gravier *e* et le grès *c*; et s'il existait entre les deux un mince enduit argileux, on pourrait trouver d'abord les eaux de la nappe supérieure aux couches *b*, puis, plus bas, celles arrêtées par l'assise *d*.

b. L'observateur concevra facilement une variété de circonstances qui peuvent modifier dans diverses localités la quantité d'eau que fournissent les puits; mais en étudiant la position géologique de chacun des puits, de manière à connaître la véritable position relative des couches poreuses et de celles qui sont imperméables, et en tenant compte des failles, lorsqu'il en existe, il n'éprouvera aucune difficulté à s'expliquer les faits de ce genre qu'il pourra rencontrer.

c. Lorsque l'on creuse un puits, il faut éviter avec soin de percer la couche imperméable qui supporte l'eau et qui est quelquefois fort mince; car l'eau pourrait s'écouler alors dans les couches inférieures, si elles étaient poreuses.

d. Dans les pays à couches très-inclinées, et même verticales, on peut souvent rencontrer de l'eau à différents niveaux, par la saturation, jusqu'à ces niveaux, des schistes ou autres couches qui jusqu'à un certain point sont perméables à l'eau; de sorte qu'en creusant un puits dans ces localités, l'eau filtrerait dans la cavité et s'y maintiendrait au niveau des roches saturées. L'observateur rencontrera souvent de petites cavités creusées près des maisons des pays schisteux, dans des couches fortement inclinées, et qui sont remplies d'eau d'après ce principe.

V. *Mines*. Il ne peut être dans notre intention de parler avec quelque détail de ce qui concerne l'art des mines; nous ne voulons que faire sentir combien la connaissance de la géologie est nécessaire à ceux qui cherchent des minerais métalliques, ou des combustibles, dans des pays où il n'y a pas eu encore d'exploitations. La somme totale d'argent qui a été perdue en recherches inutiles, de houille surtout, et que la moindre connaissance de géologie aurait épar-

gnée, est beaucoup plus considérable qu'on ne saurait le croire. Le moindre fragment de schiste noirâtre, la plus petite trace de lignite, déterminent souvent à des dépenses de quarante et cinquante mille francs dans des localités où il n'existe aucune probabilité de succès. Il en est à peu près de même pour les recherches des métaux. Il est vrai, certainement, que les divers métaux et la houille ne sont point limités (à prendre l'ensemble de la surface terrestre) à une époque géologique particulière; mais on n'en peut pas moins assurer que dans une partie donnée quelconque de cette surface, les métaux et la houille occupent des positions géologiques constantes. Ainsi, par exemple, quoique l'on trouve des combustibles dans le groupe oolitique dans le *Yorkshire* et à *Brora* en Écosse, et qu'il existe de l'anthracite dans la grauwacke du *Devonshire*, tous les géologues savent que l'on ne trouve en Angleterre de bonne houille bitumineuse, que l'on puisse exploiter avec avantage sur de grandes échelles, que dans le groupe carbonifère.

Il ne s'ensuit nullement que la houille de l'Australie soit du même âge géologique que celle de l'Angleterre; et, en effet, on ne saurait avancer que toute la houille qu'on peut exploiter avec profit soit d'une même époque, sans admettre en même temps qu'à une époque déterminée il y a eu un enfouissement général de matière végétale sur toute la surface du globe; que ce dépôt général de végétaux a duré pendant une période considérable sans aucune interruption, et que rien de semblable ne s'est produit ni avant ni après cette époque. La moindre connaissance de l'état actuel de la géologie suffit à faire comprendre tout ce qu'il y a d'absurde dans ces diverses suppositions.

a. On doit se guider dans la recherche des combustibles d'après la connaissance que l'on aura de la structure géologique de la contrée, dans quelque partie du monde que soit d'ailleurs située cette contrée. La connaissance de la structure géologique générale de l'Australie orientale mettra sans doute un jour les géologues du pays en état de rechercher la houille dans un terrain déterminé, et non dans les autres, absolument comme un géologue anglais peut conseiller aujourd'hui d'établir des exploitations dans des localités favorables, et dire à ceux qui veulent à tout prix trouver de la houille hors de sa place naturelle, qu'ils ne font que perdre leur temps, leur travail et leur argent.

b. La connaissance de la constitution géologique d'un pays est également nécessaire en ce qui concerne les recherches des minerais métalliques. Par cela même que des terrains d'une même époque changent de structure minéralogique sur des distances horizontales,

Digitized by Google

il s'ensuit que l'on ne peut s'attendre à trouver sur toute l'étendue de ces terrains les mêmes substances métalliques utiles. Nous ne pourrions nous étendre sur ce sujet sans entrer dans des discussions qui seraient entièrement étrangères au but de cet ouvrage. Il nous suffira de dire que la connaissance de la structure géologique des îles Britanniques, de la France, de l'Allemagne ou de tout autre pays, mettra les géologues de ces différentes contrées en état de décider que certains terrains, ou certaines manières d'être de ces terrains, peuvent présenter des métaux utiles, tandis que toute recherche dans des terrains différents serait entièrement infructueuse. En Angleterre, par exemple, personne ne s'attendra à découvrir des mines d'étain ou de cuivre dans les groupes crétacé ou oolitique, tandis que l'on sait que dans le Cornouailles c'est à la jonction du granite et des schistes qu'il faut entreprendre la recherche de ces métaux.[1]

VI. *Matériaux de construction.* La connaissance de la structure générale des terrains et des localités dont on peut extraire de bons matériaux est indispensable aux personnes qui sont chargées de la construction des grands édifices; car, quant aux habitations ordinaires, on se contente le plus souvent des matériaux que l'on trouve à sa portée. Une pierre qui résistera un temps très-considérable si elle est constamment plongée sous l'eau, pourra être bientôt dégradée si elle est exposée alternativement à l'air et à l'eau dans une rivière, ou sur les côtes d'une mer sujette à la marée; ou même si elle est exposée constamment à l'action de l'atmosphère. Un grès légèrement poreux, par exemple, peut rendre de bons services s'il est tenu constamment sous l'eau, tandis que la même roche lorsqu'elle est soumise aux actions atmosphériques, surtout dans les climats exposés à la gelée, peut tomber peu à peu en poussière, d'après les causes que nous avons mentionnées ailleurs (page 26).

a. L'observateur qui voudrait choisir une pierre destinée à être exposée aux influences atmosphériques fera bien d'étudier les effets de cette exposition dans la localité même d'où l'on tire cette pierre. Il pourra y apprendre lequel des éléments de la roche (si c'est une roche composée) est susceptible d'être altéré par ces influences, et les conditions sous lesquelles a lieu cette altération. On considère en général le granite comme la pierre la plus convenable pour les grands monuments nationaux. Cependant il est des granites qui,

[1] M. De La Bèche entre ici dans quelques détails sur l'utilité dont serait pour l'Angleterre l'établissement d'une école des mines; détails que nous avons omis comme n'ayant aucun intérêt sur le continent. (*Note du traducteur.*)

Digitized by Google

bien que durs et difficiles à travailler lorsqu'on les sort de la carrière, donnent de très-mauvais matériaux de construction par suite de la facilité avec laquelle leur feldspath se décompose lorsqu'il est exposé à l'action d'une atmosphère humide dans un climat qui est chaud pendant une partie de l'année et froid pendant l'autre partie. Les roches qui contiennent du feldspath compacte sont souvent très-durables. Quelques-unes des roches connues en Cornouailles sous le nom provincial d'*elvan* semblent être extrêmement durables lorsqu'elles sont exposées aux actions atmosphériques; car quelques-uns des ornements le plus finement ciselés des anciennes églises de cette province, construits avec cette roche, sont aussi parfaitement conservés que s'ils sortaient maintenant des ateliers de l'ouvrier.

Les roches qui absorbent facilement l'humidité, telles que sont plusieurs de celles dont on fait des pierres de taille, donnent de très-mauvais matériaux de construction pour la partie extérieure des édifices publics; car dans les pays où le thermomètre descend au-dessous de 0°, l'humidité qui pénètre la surface de la roche, augmentant de volume par la gelée, détache continuellement la première pellicule pour ainsi dire de cette surface, et finit par détruire les ornements qu'on y a sculptés. Il est essentiel de se rappeler que les pierres de taille, qu'on appelle ainsi à cause de la facilité avec laquelle on les travaille au sortir de la carrière, sont souvent très-estimées, parce qu'elles prennent une grande dureté lorsqu'elles sont exposées à l'action de l'atmosphère : cette qualité provient de l'évaporation de l'eau que la pierre contenait naturellement avant d'être extraite de la carrière. Maintenant, quelques-unes des pierres de taille absorbent de nouveau facilement l'humidité, tandis que d'autres n'en absorbent point; les dernières sont évidemment préférables, et l'observateur devra reconnaître par des expériences la manière dont l'humidité agit sur les diverses pierres de taille avant de choisir celles qui conviennent pour un édifice donné.

Certaines pierres de taille sont formées de molécules de sable cimentées par différentes substances, qui sont tantôt siliceuses, tantôt calcaires, et quelquefois formées par de l'oxide de fer. Dans le premier cas la pierre de taille n'aura point à souffrir de l'action chimique des influences atmosphériques, tandis que dans le second, l'eau de pluie contenant de l'acide carbonique, tendra à dissoudre la matière calcaire et à entraîner le ciment qui unissait les molécules de sable; dans le cas où le ciment serait de l'oxide de fer, l'action de l'atmosphère rendrait les pierres désagréables à la vue

par les nombreuses taches de rouille qui se développeraient à sa surface.

Tout le monde sait combien on a fait peu d'attention en Angleterre à la durée des matériaux que l'on a employés à la construction des monuments nationaux. Ce n'est pas que les matériaux d'excellente qualité n'abondent dans les îles Britanniques, et le géologue en rencontre fréquemment sous ses pas. Il est difficile de voir une pierre plus convenable pour les grands monuments qu'une masse de granite blanc qui se trouve près d'*Okehampton* dans le *Devonshire*. A en juger par les parties exposées à l'action de l'atmosphère, ce granite doit être extrêmement durable. Il est composé de feldspath, de quarz et de mica, tous d'une grande blancheur; en un mot, il a l'apparence d'un beau marbre statuaire. Jusqu'ici on n'a employé cette belle roche, à notre connaissance, qu'à faire une ou deux cheminées.

b. Lorsqu'il s'agit de choisir des matériaux pour la construction de ports, de digues, de brise-lames (*breakwaters*), de quais et de ponts, l'observateur devra désigner pour chaque partie de ces ouvrages les pierres qui seront le plus convenables. Lorsqu'une jetée ou un brise-lame doivent résister à de forts brisants qui entraînent avec eux les cailloux d'une plage, les matériaux doivent en être plus solides que lorsque la force des brisants n'est point ainsi augmentée par les cailloux dont ils sont chargés. Dans les deux cas, le poids d'une pierre est une de ses qualités les plus importantes; car plus ce poids est grand sous un même volume, plus la pierre offrira de résistance, toutes choses égales d'ailleurs, aux coups répétés des brisants. L'observateur devra donc vérifier la pesanteur spécifique de la pierre qu'il se propose d'employer ainsi. Des pierres de diverse nature, quoique ayant une valeur égale sous d'autres rapports, peuvent varier de beaucoup sous celui de leur pesanteur spécifique; de sorte que deux jetées de dimensions données peuvent différer considérablement l'une de l'autre, sous le rapport du poids, d'après les matériaux qu'on aura employés à leur construction.

En construisant des jetées, des quais et des ponts là où le niveau de l'eau est sujet à varier, il faut se rappeler que les matériaux qui conviennent pour une partie de ces ouvrages, peuvent fort bien ne point convenir pour les autres. Certaines roches peuvent faire un bon usage dans les parties qui sont constamment sous l'eau, qui se désagrégeront facilement si elles sont exposées à l'action de l'atmosphère, surtout si elles sont alternativement sèches et humides, par les effets de la marée, ou de toute autre cause donnant lieu à des changements du niveau des eaux. Un observateur

peut souvent se procurer des données à cet égard, en étudiant la manière d'être des roches sur les bords des rivières et sur les côtes de la mer, et les géologues arrivent souvent à connaître ainsi plusieurs localités où l'on pourrait ouvrir des carrières qui fourniraient des matériaux propres à chacune des positions dans lesquelles on voudrait les employer.

Digitized by Google

Digitized by Google

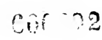
TABLE DES MATIÈRES.

PREMIÈRE PARTIE.

DEUXIÈME PARTIE.

TROISIÈME PARTIE.

FIN.





Digitized by Google

ERRATUM.

Page 95, ligno 12, *au lieu de* dispersent, *lisez* disposent.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google


BIBLIOTECA